Б. В. НИКОЛЬСКИЙ, Д. Б. МИЛЯВСКИЙ

ЭКСПЛУАТАЦИЯ И РЕМОНТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН НА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ЗАВОДАХ

Б. В. НИКОЛЬСКИЙ, Д. Б. МИЛЯВСКИЙ

ЭКСПЛУАТАЦИЯ И РЕМОНТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН НА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ЗАВОДАХ

Издание 2-е, исправленное и дополненное

МОСКВА „МЕТАЛЛУРГИЯ" 1973

УДК 621.312/313.004.67

УДК 621.312/313.004.67

Эксплуатация и ремонт электрических машин на металлургических заводах. 2-е изд. Никольский Б. В., Милявский Д. Б., М., «Металлургия», 1973, 160 с.

Первое издание вышло в 1964 г. Второе издание переработано и дополнено новыми материалами.

Рассматриваются электрические машины постоянного и переменного тока, виды и характер повреждений, а также причины, вызвавшие их; технология ремонта. Дана методика расчета ремонтных работ и рекомендации по переделке машин для работы в других режимах.

Книга составлена на основе опыта эксплуатации и ремонта электрооборудования на Криворожском металлургическом заводе, Нижне-Тагильском металлургическом комбинате и заводе «Днепроспецсталь».

Предназначена для рабочих и мастеров, занимающихся эксплуатацией и ремонтом электрических машин. Ил. 73. Список лит.: 19 назв.

Н $\frac{3310-087}{040(01)-73}$ 119—73

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

«Съезд считает, что для успешного осуществления намеченных экономических и социальных задач необходимо всемерно повышать эффективность общественного производства, добиваться ускорения темпов роста производительности труда во всех отраслях народного хозяйства»[1]

Вопрос о повышении производительности труда является актуальным в нашей стране. Для его решения необходимо обучить кадры, которые, освоив технологию, будут качественно и в более сжатые сроки выполнять порученную работу. Задача этой книги — помочь молодым рабочим, пришедшим после окончания средней школы в электроремонтный цех металлургического предприятия, освоить технологию ремонта и понять причины выхода из строя электрических машин.

На металлургических предприятиях должен быть обеспечен надежный резерв электрических машин, который обеспечивал бы возможность снятия их с места установки для проведения планового ремонта в электроремонтном цехе. Аварийный выход из строя электрических машин в зависимости от места их установки влечет за собой большие потери производства и отражается на ритмичности работы предприятия.

На передовых металлургических заводах аварийный выход из строя электрических машин не превышает 2—2,5%, что достигается систематическим проведением планово-предупредительных ремонтов.

Электрические машины на металлургических предприятиях работают в тяжелых условиях: обилие пыли, повышенная влажность, высокая окружающая температура и часто повторяющаяся максимальная нагрузка. Эта специфичность работы электрических машин вызывает потребность в организации и проведении систематических планово-предупредительных ремонтов по годовому графику предприятия.

При электроремонтном цехе металлургического предприятия создается участок планово-предупредительного ремонта (ППР), ко-

---

[1] Резолюция XXIV съезда Коммунистической партии Советского Союза по Отчетному докладу ЦК КПСС, с. 16.

торый обеспечивает ремонт напольного и кранового электрооборудования в цехах предприятия. Участок делится на бригады, закрепленные за цехами и оборудованием. В электроремонтном цехе, кроме участка ППР, имеются участки: обмоточный, механический, запасных частей к электрооборудованию, испытательная станция, которые производят разборку и сборку электрических машин, ремонт и замену обмоток, проточку коллектора и контактных колец и изготовление запасных частей к электрической аппаратуре.

Перед ремонтом электрической машины при ее разборке проводится дефектовка. Эта работа поручается квалифицированному специалисту, который определяет объем ремонта, необходимые запасные части и вместе с заказчиком и представителем отдела главного энергетика устанавливает причину выхода из строя электрической машины.

Виды ремонта электрических машин чрезвычайно разнообразны. Поэтому в настоящей книге авторы, суммируя большой опыт работы в ремонтных цехах, стремились обобщить возможные повреждения электрических машин, объяснить причины их возникновения и разобрать технологию ремонта деталей электрических машин, обратив внимание на возможности частичных перемоток обмоток, что дает экономию дефицитных материалов при соблюдении высокого качества ремонта.

Книга преследует цель помочь электрикам металлургических предприятий значительно сократить аварийный выход из строя электрических машин.

ГЛАВА I

ТИПЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН, УСЛОВИЯ ИХ РАБОТЫ И ПРИМЕНЕНИЕ

На металлургических заводах работают электродвигатели постоянного и переменного тока различных типов. В основных металлургических цехах, насыщенных токопроводящей пылью, преимущественно применяют электрические машины закрытого исполнения. На механизмах, требующих широкой регулировки скорости, имеющих тяжелый режим работы с кратковременными большими перегрузками, применяют двигатели постоянного тока. Например, главные приводы прокатных станов, приводы нажимных устройств, лебедок доменного подъема, газовых горелок кауперов, ряда мостовых кранов и пр.

Двигатели переменного тока, которые более экономичны, просты по конструктивному исполнению и надежны в эксплуатации, нашли широкое применение в металлургической промышленности. Они применяются на механизмах с длительным режимом работы или не требующих широкой регулировки скорости, например на мостовых кранах вспомогательных пролетов, в приводах рольгангов в прокатных цехах, для вентиляторов, компрессоров, насосов, наждачных станков по зачистке металла и пр.

1. МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

В настоящее время наша промышленность выпускает электродвигатели и генераторы постоянного тока единой серии П. Машины этой серии имеют как горизонтальное, так и вертикальное исполнение и охватывают мощность от 0,13 до 200 квт. Они бывают следующих типов: П-11, П-12 . . . П-131, П-174 и т. д. (рис. 1, *а*).

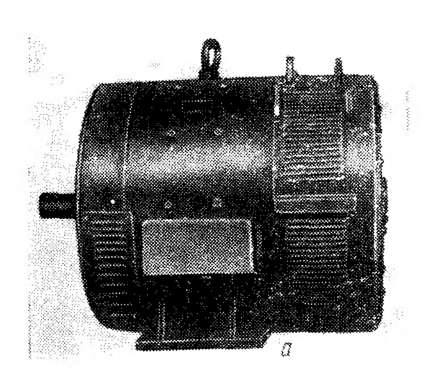
Обозначения типа расшифровываются так:

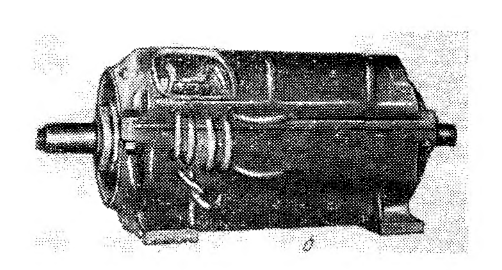
П — наименование серии; первые две цифры обозначают порядковый номер габарита (габарит—условное определение наружного диаметра активного железа якоря); третья цифра — порядковый номер длины сердечника якоря.

У машин от первого до четвертого габаритов допускают регулирование скорости выше номинальной (до 1—2 включительно). Для контроля регулирования скорости начиная с четвертого габарита пристраиваются тахогенераторы. Направление вращения двигателей по часовой стрелке (со стороны коллектора), у генераторов — наоборот. Машины первого и третьего габаритов имеют два главных полюса и один дополнительный, у остальных машин этого типа четыре главных полюса и четыре дополнительных. Подшипниковые щиты

у машин первого и третьего габаритов алюминиевые, у остальных — чугунные. Вентиляция у машин от 4-го до 17-го габарита принудительная, до четвертого габарита — самовентиляция при помощи металлического вентилятора, насаженного на вал. Все двигатели серии П реверсивные.

Электродвигатели 13—17-го габаритов применяются для привода основных и вспомогательных механизмов прокатных станов и крупных металлорежущих станков, требующих широкой регулировки скорости вращения и имеющих значительные кратковременные





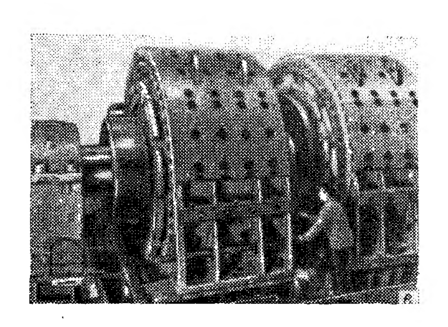


Рис. 1. Типы электродвигателей:
а — П; *б* — ДП; *в* — 2ПБК-250/145

перегрузки. Электродвигатели типа ПВ (вертикального исполнения) предназначены для привода нажимного устройства валков блюминга.

Электрические машины постоянного тока большой мощности широко используются для привода прокатных станов. Серии таких двигателей следующие: 2П22/80-4,5, мощность 2×4500 квт, П23/135—5,4, мощность 5400 квт и т. д. У электрических машин этого типа станина разъемная. Для улучшения охлаждения якорь состоит из четырех пакетов, разделенных радиальными вентиляционными каналами. Холодный воздух входит в корпус двигателя через окно, нагретый в двигателе воздух выбрасывается через радиальные каналы. Подшипники охлаждаются змеевиками в ваннах, через которые прогоняется водопроводная вода. В средних по мощности машинах применяют подшипники качения (роликовые), в крупных — скольжения. Для двигателей, работающих в условиях

часто меняющейся реверсивной нагрузки, понижают маховой момент якоря, снижают потребление электроэнергии и сокращают время разгона якоря при пуске и реверсировании за счет уменьшения диаметра якоря и увеличения его длины. Электродвигатели снабжены дистанционным контролем температур обмоток, воздуха, воды, масла. Широко внедряются двухъякорные электродвигатели (на один вал насажены два якоря). Исполнение двигателей закрытое. В кожухах электродвигателя с обеих сторон предусмотрено по две двери для осмотра обмоток, а в кожухе со стороны коллектора — окна для внешнего осмотра.

Для привода лебедок доменного подъема применяются электродвигатели серии ДП (рис. 1, *б*), например: ДП 74/34-6к, мощностью 260 квт и ДП 74/37-6к, мощностью 550 квт, и др. На одну лебедку устанавливают два электродвигателя одного типа, соединенных последовательно. Электродвигатели реверсивные. Станина разъемная по горизонтали. Охлаждение — естественное. Обозначение типа расшифровывается следующим образом: Д — электродвигатель, П — постоянного тока; числитель дроби обозначает величину наружного диаметра якоря (сантиметры), а знаменатель — длину сердечника якоря (сантиметры); следующая за дробью цифра обозначает число главных полюсов; буква «к» обозначает — компенсированный.

Для приводов механизмов мостовых кранов и вспомогательных металлургических механизмов также применяются электродвигатели серии ДП. Эти двигатели характеризуются повышенной кратностью пусковых и вращающих моментов, большой частотой включений и широким диапазоном регулирования скорости вращения. Серия ДП состоит из 12 типов двигателей тихоходного исполнения и 8 типов двигателей быстроходного исполнения. Выпускаются электродвигатели на напряжение 220 и 440 *в*. Двигатели бывают с горизонтальным и вертикальным расположением вала, в этом случае к типу двигателя добавляется буква «В». Электродвигатели изготовляются с последовательным, параллельным и смешанным возбуждением. Корпус может быть цельным стальным и разборным по горизонтали. Двигатели рассчитывают на продолжительность включения (ПВ): 15, 40, 60, 100%; при пониженных ПВ сила тока соответственно повышается.

В двигателях типа ДП якорь вращается на двух роликовых подшипниках, которые закрепляются так, что якорь имеет осевую игру до 3 мм в подшипниках для предохранения роликов от заедания при температурном удлинении вала. Во избежание загрязнения внутренних деталей двигатели выполняют закрытыми. Охлаждение двигателей осуществляется через наружную поверхность станины. Кроме того, внутри двигателей помещают вентилятор на валу в задней части якоря. Для обслуживания щеточного аппарата служит люк в подшипниковом щите, который закрыт пружинной крышкой. Машины большой мощности выполняются на двух скользящих подшипниках, один из которых упорный для восприятия осевых нагрузок. Как правило, в крупных машинах сила тока якоря достигает нескольких тысяч ампер, чтобы пропустить этот ток делают

сдвоенный коллектор, коллекторные пластины которого спаивают соединительными медными перемычками.

Крупные машины постоянного тока серии БПК (рис. 1, *в*) предназначены для работы в качестве генераторов и электродвигателей; выпускаются мощностью от 700 до 6000 квт на 250—1000 об/мин. Применяются как генераторы преобразовательных агрегатов и как электродвигатели для приводов с широким диапазоном регулирования скорости крупных прокатных станов.

2. МАШИНЫ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Основными сериями машин трехфазного переменного тока являются единые серии А2 и А02. Машины этих серий обладают следующими преимуществами: небольшая масса на единицу мощности, небольшие габаритные размеры, небольшая скорость нарастания температуры обмоток статора при пуске, высокая эксплуатационная надежность вследствие применения высокопрочной изоляции обмоток. Двигатели выпускаются с короткозамкнутым и фазным ротором, в чугунном корпусе и такими же подшипниковыми щитами. Мощность электродвигателей от 0,6 до 125 квт. Электродвигатели меньшей мощности выпускаются в алюминиевых корпусах. Строят двигатели на 3000, 1500, 1000, 750, 600, 250 об/мин (рис. 2).

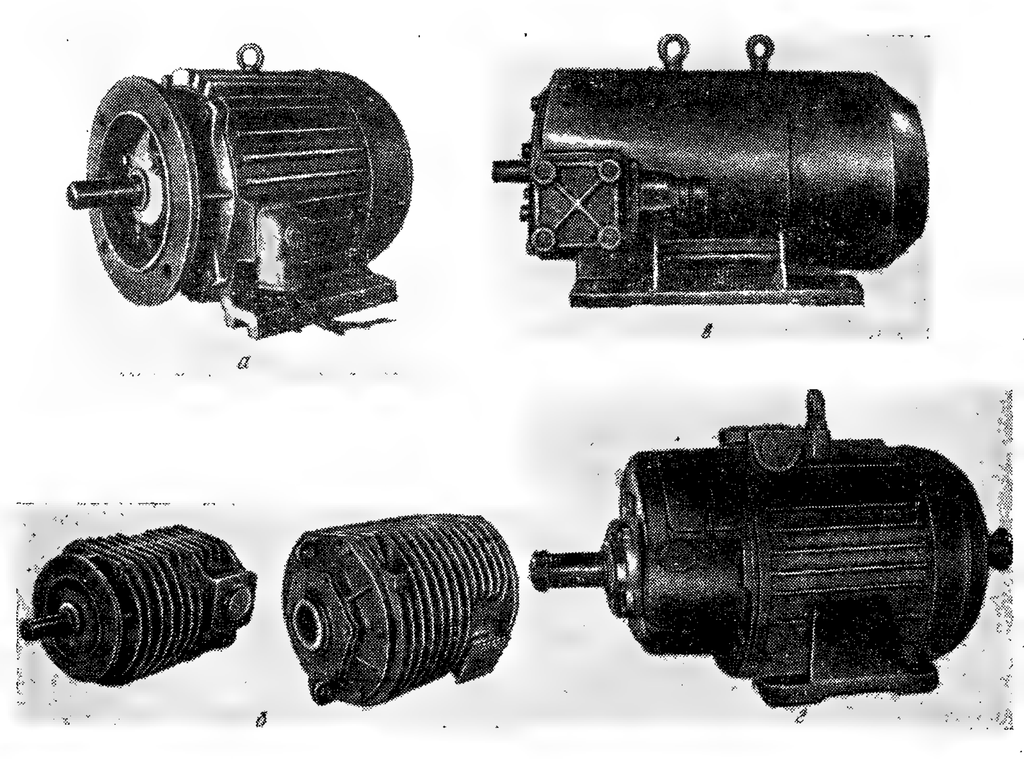


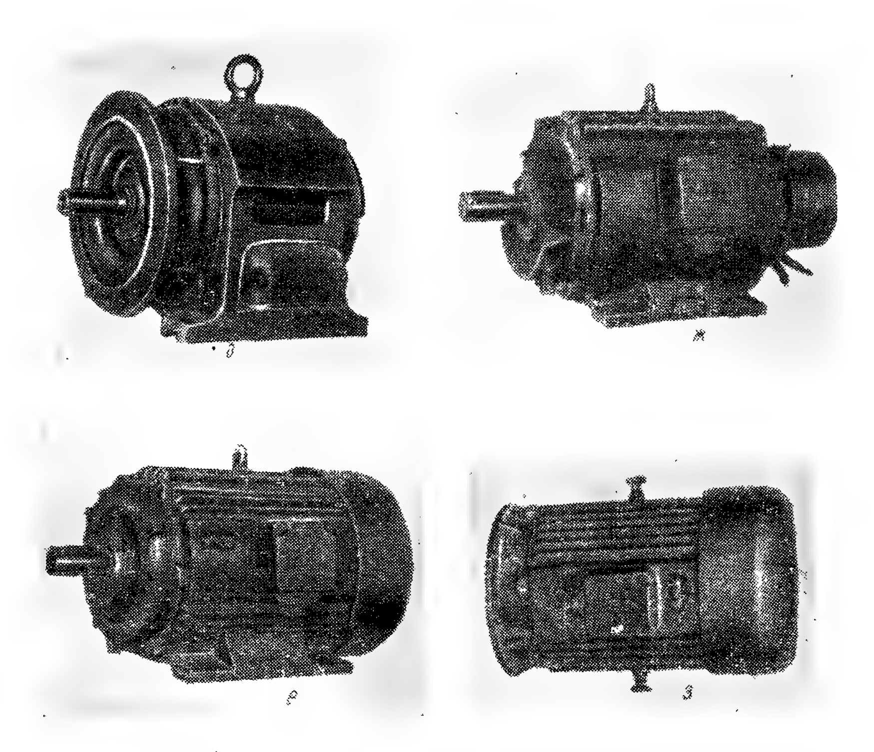
Рис. 2. Типы

а — АОФ; *б* — АЗРФ и МАР; *в* — МА;

Двигатели серии А2 — это двигатели защищенного исполнения. А02 — закрытого обдуваемого исполнения. Цифры, стоящие после марки серии, последовательно обозначают: габарит, длину и число полюсов. Например, двигатель марки А2-92-8: защищенное исполнение, 9-й габарит, 2-я длина, 8-полюсный. При обозначении типов модификаций к буквенной части перед цифрой 2 прибавляется буква: АОП-2 — с повышенным пусковым моментом; АОС-2 с повышенным скольжением; АОК-2 с фазным ротором (кольцами). При обозначении типов специализированных электродвигателей в конце полного обозначения добавляется: для химостойкого исполнения буква Х (А02-91-4Х); для тропического исполнения буква Т (А02-91-4Т); для влагоморозостойкого исполнения буквы ВМС (А02-91-4ВМС); при горизонтальном креплении на лапах — Щ2; при креплении фланцем — Ф2.

Электродвигатели серий А2 и А02 применяются для привода к компрессорам, молотам, ножницам, кузнечно-ковочным машинам, к станкам.

Крановые электродвигатели серий МТ, МТВ, МТК и МТКВ предназначены для привода крановых механизмов общепромышленного назначения, работа которых характеризуется кратковременными режимами и большими кратностями перегрузок.



электродвигателей:

г — МТВ; *д* — А; *е* — АО2; *ж* — АК2; *з* — АО2-В3

Металлургические электродвигатели серий МТМ и МТКМ предназначены для приводов металлургического производства, работающих при повышенных температурах окружающей среды.

Продолжительность включений (ПВ) для крановых электродвигателей составляет 15, 40 и 60% и для металлургических — 25, 60 и 100%. Температура окружающего воздуха должна быть не выше 50° С. При повышении температуры снижается нагрузка.

Крановые электродвигатели указанных серий выполняются на 220/380, 500 *в*, частотой 50 *гц* и числом синхронных оборотов 1000, 750 и 600 в минуту. Эти двигатели характеризуются повышенной перегрузочной способностью, большими пусковыми моментами при сравнительно небольших пусковых силах тока, а также малым временем разгона. Кратность пусковых максимальных моментов к номинальному колеблется в пределах 2,3—3,0.

Электродвигатели изготовляются в закрытом обдуваемом исполнении. Основной номинальный режим защищенных электродвигателей с независимой вентиляцией — длительный ПВ = 100%.

По способу монтажа электродвигатели могут быть горизонтальной и вертикальной установки (фланцевые).

По размерам внешнего диаметра статорных листов электродвигатели серий МТ, МТВ и МТМ с фазным ротором выпускаются восьми величин, а электродвигатели серий МТК, МТКВ, МТКМ с короткозамкнутым ротором — шести величин.

Металлургические электродвигатели с фазным ротором обозначаются буквами МТМ, а с короткозамкнутым ротором МТКМ. Цифры после букв обозначения серии последовательно означают диаметр и длину активного железа статора и число полюсов. При переменном числе полюсов (двухскоростные двигатели) их обозначают двумя цифрами через косую черту. Например, электродвигатель типа МТКМ 41/6 — металлургический, короткозамкнутый, четвертой величины, первой длины, число полюсов 6.

Крановые и металлургические электродвигатели имеют одинаковую конструкцию и отличаются обмоточными данными. Станина и подшипниковые щиты чугунные. Ребра на станине направляют охлаждающий поток воздуха. Подшипники на двигателях от нулевой до четвертой величины — шариковые, от пятой до седьмой величины — роликовые.

Электродвигатели серии АТД служат для привода быстроходных механизмов: насосов, компрессоров. Работают при температуре окружающей среды до +45° С и относительной влажности воздуха до 90%. Исполнение вентиляции защищенное с разомкнутым циклом. Выпускаются двигатели серии АЗЛ и АЗМ мощностью от 1000 до 5000 квт с синхронной скоростью 3000 об/мин. Обозначение: А — асинхронный, З — замкнутый цикл вентиляции, Л — пониженный пусковой момент, М — нормальный.

Большое применение в металлургической промышленности нашли высоковольтные синхронные двигатели, которые, как правило, работают в опережающем режиме, что позволяет повысить коэффициент мощности $\cos \varphi$ электропотребления завода. Электродвигатели

серии ДСК и ДСКП-260 применяют на металлургических предприятиях для привода поршневых компрессоров. Двигатели выпускаются мощностью от 250 до 840 квт на 167 об/мин и на напряжение 3000—6000 в. Двигатели имеют прямой асинхронный запуск и рассчитаны для работы с опережающим коэффициентом мощности. Возбуждение у двигателей независимое. Обозначение типа следующее: Д — двигатель, С — синхронный, К — компрессорный, П — повышенной надежности.

Электродвигатели серии МС-320 применяются для приводов, не требующих регулирования скорости, например компрессоров, вентиляторов, насосов, преобразовательных агрегатов. Выпускаются мощностью 115—12 200 квт, от 1000 до 125 об/мин, напряжением 500; 3000 и 6000 в. Выполняются в открытом или закрытом исполнениях. Запуск электродвигателя асинхронный прямой либо при пониженном напряжении — через реактор или автотрансформатор. Возбуждение от двигатель-генератора или возбудителя, сидящего на общем валу с синхронным двигателем.

3. ЭЛЕКТРОМАШИННЫЕ УСИЛИТЕЛИ

Электромашинные усилители поперечного поля серии ЭМУ широко применяются в металлургической промышленности в схемах автоматического управления электроприводом. Например, регулирование напряжения генераторов дуги в сталеплавильных электропечах, автоматическое управление электродвигателями. Электромашинный усилитель поперечного поля представляет собой двух- или четырехполюсный генератор постоянного тока, имеющий две ступени усиления и несколько обмоток возбуждения (две—четыре обмотки управления). В этих ЭМУ используется магнитный поток, создаваемый током обмотки якоря (поперечный поток реакции якоря).

Незначительный, порядка десятков миллиампер, ток в обмотке управления наводит большой величины ток в обмотке якоря, замкнутой накоротко парой вспомогательных меток, расположенных по поперечной оси (вследствие малого сопротивления обмотки якоря этот ток достигает номинальной величины при малом токе возбуждения). Это первая ступень.

Во второй ступени ток в обмотке якоря, замкнутой накоротко, создает магнитный поток, наводящий значительную по величине э. д. с., снимаемую с рабочих щеток, расположенных по продольной оси. Коэффициентом усиления ЭМУ является отношение мощности на выходе якоря к мощности, потребляемой обмоткой управления. Для устранения размагничивающего действия продольного поля реакции якоря, возникающего при прохождении через продольные щетки по обмотке якоря тока нагрузки, статор ЭМУ имеет специальную компенсационную обмотку. Параллельно компенсационной обмотке присоединено регулировочное сопротивление, которое уменьшает величину тока в этой обмотке. Регулировочным сопротивлением добиваются некоторой недокомпенсации ЭМУ с целью получения мягкой внешней характеристики ЭМУ.

Учитывая тяжелые условия коммутации ЭМУ, для уменьшения искрения под щетками имеется обмотка дополнительных полюсов.

На металлургических заводах преимущественно применяются следующие типы выпускаемых нашей промышленностью электромашинных усилителей: ЭМУ-12, ЭМУ-25, ЭМУ-50, ЭМУ-70, ЭМУ-100, ЭМУ-110. Число после тире означает для электромашинных усилителей, имеющих синхронную скорость в 3000 об/мин, увеличенную в десять раз мощность в квт. Эта серия ЭМУ выпускается на 1500 и 3000 синхронных оборотов в минуту напряжением 115 или 230 в.

Электромашинные усилители на 3000 об/мин имеют повышенный износ подшипников, коллекторов, щеточного аппарата, щеток. Это способствует выходу из строя обмотки якоря.

4. ДОПУСТИМЫЙ НАГРЕВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Допустимый нагрев электрических машин определяется классом изоляции обмотки в соответствии с ГОСТ 8865—70. Согласно ГОСТ 8865—70 все применяемые в электропромышленности изоляционные материалы по нагревостойкости (допустимым предельным температурам нагрева) разделяются на семь классов.

Класс	Y	A	E	B	F	H	C
Предельная рабочая температура, °С	90	105	120	130	155	180	Более 180

Краткая характеристика классов нагревостойкости электроизоляционных материалов.

Y — не пропитанные и не погруженные в жидкий электроизоляционный материал волокнистые материалы из целлюлозы и шелка, а также соответствующие данному классу другие материалы и сочетания материалов.

А — пропитанные или погруженные в жидкий электроизоляционный материал волокнистые материалы из целлюлозы или шелка, а также соответствующие данному классу другие материалы и сочетания материалов.

Е — некоторые синтетические органические пленки, а также соответствующие данному классу другие материалы и сочетания материалов.

В — материалы на основе слюды (в том числе на органических подложках), асбеста и стекловолокна, применяемые с органическими связующими и пропитывающими составами, а также соответствующие данному классу другие материалы и сочетания материалов.

F — материалы на основе слюды, асбеста и стекловолокна, применяемые в сочетании с синтетическими связующими и пропитывающими составами, а также соответствующие данному классу другие материалы и сочетания материалов.

Н — материалы на основе слюды, асбеста и стекловолокна, применяемые в сочетании с кремнийорганическими связующими и пропитывающими составами, кремнийорганические эластомеры, а также соответствующие данному классу другие материалы и сочетания материалов.

С — слюда, керамические материалы, стекло, кварц, применяемые без связующих составов или с неорганическими или элементоорганическими связующими составами, а также соответствующие данному классу другие материалы и сочетания материалов.

В зависимости от назначения электромашины, места ее установки, режима работы, условий окружающей среды электропромышленность выпускает электромашины с соответствующим классом изоляции. При ремонтах электромашин необходимо сохранять ее класс изоляции. В случаях аварийных выходов из строя электромашин вследствие ускоренного старения ее изоляции необходимо установить причины выхода.

Переход на более высокий класс изоляции при несоответствии класса изоляции электромашины условиям ее работы способствует повышению надежности эксплуатации электромашин. Такая перемотка (модернизация) осуществляется при ее капитальном ремонте.

5. ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ВКЛЮЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Режим работы электродвигателей в металлургической промышленности очень разнообразен и характеризуется продолжительностью включения электродвигателя. Электродвигатели могут работать: 1) очень длительные периоды времени, измеряемые часами, сменами, неделями и месяцами, например электродвигатели вентиляторов, насосов и т. д.; 2) короткие промежутки времени, измеряемые минутами и десятками минут, например электродвигатели механизмов открывания заслонок, поворота, выката, наклона электропечей (такие относительно короткие промежутки работы следуют обычно после длинных пауз в несколько десятков минут и даже часов); 3) с чередующимися периодами работы и остановки, например электродвигатели мостовых кранов, нажимного устройства, рольгангов, подъема электродов в дуговых печах и т. д.

По условиям нагрева электродвигателей различают три основных режима их работы: 1) продолжительный (длительный); 2) кратковременный; 3) повторно-кратковременный. Длительный режим работы такой, при котором период нагрузки без отключения может продолжаться сколь угодно долго, температура электродвигателя достигает установившейся величины (номинально допустимой для электродвигателя). Кратковременный режим работы характеризуется периодом работы, при котором температура двигателя не успевает достигнуть номинально допустимого значения, а в периоды отключения снижается до температуры окружающей среды. Повторно-кратковременный режим работы характеризуется чередованием рабочего периода и периода отключенного состояния. Температура за время работы двигателя не достигает установившегося значения, а за время паузы не успевает снизиться до температуры окружающей среды.

Величина, характеризующая повторно-кратковременный режим работы электромашины, называется продолжительностью включения (ПВ) и выражается в %:

$$ПВ\ \% = \frac{t_{раб}}{t_ц} 100 = \frac{t_{раб}}{t_{раб} + t_о} 100\ \%,$$

где $t_{раб}$ — продолжительность работы двигателя под нагрузкой;
$t_о$ — продолжительность отключенного состояния;
$t_ц$ — общая продолжительность работы и остановки (цикла).

Электропромышленность выпускает электродвигатели с ПВ, равным 100, 40 и 25%. При определении ПВ продолжительность цикла не должна превышать десяти минут. Мощность электродвигателя соответствует указанному на паспорте машины ПВ%. При необходимости применения электродвигателя с другим ПВ, отличающимся от паспортного значения ПВ двигателя, необходимо произвести пересчет на новую мощность

$$P_{нов} = P_{дв} \sqrt{\frac{ПВ_{дв}}{ПВ_{нов}}},$$

где $P_{нов}$ — допустимая мощность электродвигателя при новом значении ПВ;
$ПВ_{нов}$ — необходимая продолжительность включения механизма;
$P_{дв}$ — мощность, указанная на паспорте электродвигателя;
$ПВ_{дв}$ — ПВ, указанная на паспорте.

Из формулы видно, что при пересчете мощности электродвигателя с большего значения ПВ на меньшее допустимая мощность возрастает и наоборот.

Примеры: 1. Определить ПВ электродвигателя, если электродвигатель работал в течение 2,5 мин, в отключенном состоянии находился 7,5 мин.

$$ПВ\ \% = \frac{t_{раб}}{t_{раб} + t_о} 100 = \frac{2{,}5}{2{,}5 + 7{,}5} = 25\ \%.$$

2. Имеется электродвигатель мощностью 16 квт ПВ 25%. Определить допускаемую мощность электродвигателя при ПВ 100%.

$$P_{нов} = P_{дв} \sqrt{\frac{ПВ_{дв}}{ПВ_{нов}}} = 16 \sqrt{\frac{25}{100}} = 8\ квт.$$

Указанный двигатель мощностью 16 квт с ПВ 25% можно загрузить при ПВ 100% только на 8 квт.

Продолжительность и частота включений показывают степень загруженности механизмов. Так, согласно проведенному обследованию среднее значение ПВ механизмов разливочных кранов мартеновских цехов составляет 40—65%, крана для раздевания слитков 60%, клещевых кранов прокатных цехов около 60%, кранов с поворотной тележкой (пратцен-кранов) 45—65%. Число включений металлургических механизмов находится в пределах 100—800 в час. В среднем основные металлургические краны работают до 90% календарного времени.

ВИДЫ, ХАРАКТЕР И ПРИЧИНЫ ПОВРЕЖДЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

1. МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Пробой на корпус коллектора и замыкание между ламелями. Коллектор машины постоянного тока состоит из отдельных медных пластин (ламелей), изолированных друг от друга прокладками из коллекторного миканита толщиной от 0,5 до 1 мм. Изолированные ламели собирают в цилиндр

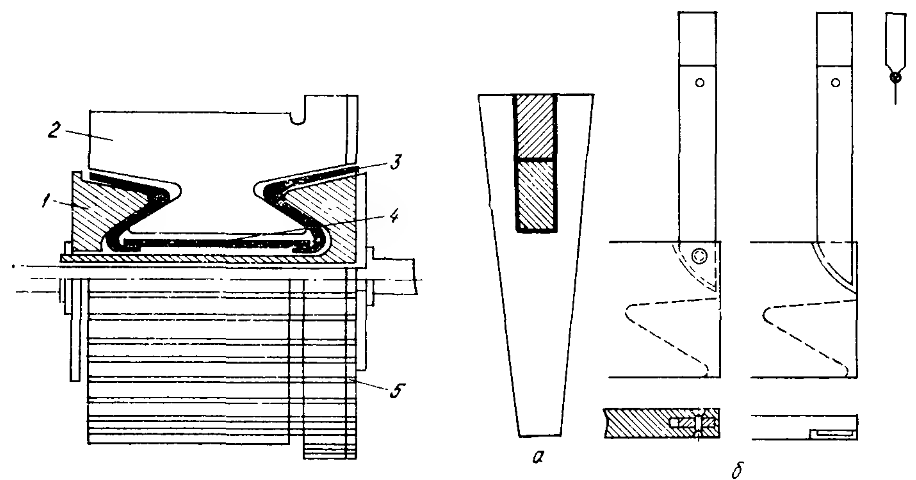


Рис. 3. Коллектор:

1 — зажимной конус; *2* — ламель; *3* — манжет; *4* — миканитовая втулка; *5* — миканитовая прокладка

Рис. 4. Коллекторные пластины (ламели):

а — прорезь в ламели; *б* — петушок впаян в ламель

и в местах выреза так называемого «ласточкиного хвоста» зажимают двумя изолированными конусами (рис. 3). Ламели на наружной части имеют прорези или впаянные флажки (петушки) для подсоединения концов обмотки якоря (рис. 4). Собранный коллектор после запрессовки и запечки его насаживают на вал якоря.

Причиной пробоя на корпус коллектора и замыкания между ламелями может быть (рис. 5):

а) механическое повреждение изоляции конусов от температурного расширения меди коллектора;

б) высыхание изоляции со временем;

в) попадание графитной пыли со щеток или металлургической пыли между изоляцией конусов коллектора и ламелями.

Указанные причины ведут к появлению щелей между коллектором и конусами или между соседними ламелями, которые заполняются токопроводящей пылью. С течением времени пыль в коллекторе запрессовывается, изоляция истирается и происходит замыкание через пыль соседних коллекторных пластин.

Замыкание ламелей вызывает выгорание изоляции конуса и пробой коллектора на корпус. Как правило, замыкание между ламелями происходит на внутренней поверхности коллектора, лежащей на изоляции конусов (манжетах).

Несвоевременное выявление повреждения коллектора приводит к значительному выгоранию коллекторных ламелей и повреждению манжет.

Пробой изоляции обмотки якоря на корпус происходит, как правило, в пазовой части (рис. 6).

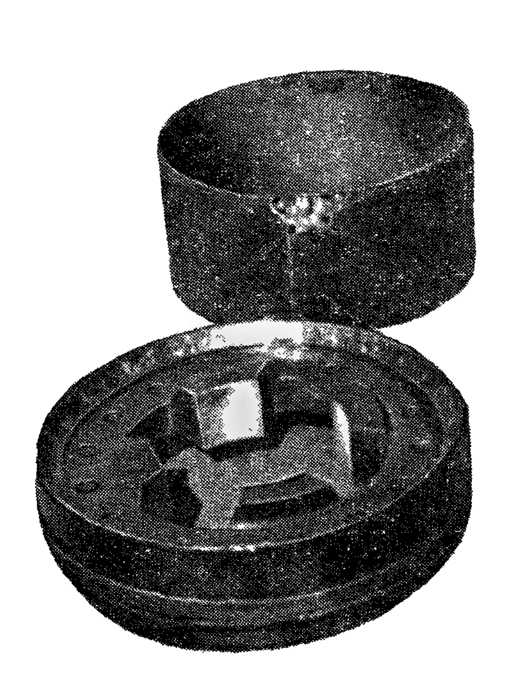


Рис. 5. Повреждение коллектора из-за пробоя изоляции на корпус

Рис. 6. Повреждение якоря из-за пробоя его обмотки на корпус

Причинами пробоя на корпус являются:

а) перетирание изоляции секции от перемещения ее в пазу под действием динамических усилий вследствие неплотной укладки в пазы;

б) разрушение пазовой изоляции от длительного перегрева обмотки (температура обмотки выше предусмотренной ее классом изоляции);

в) механические повреждения от попадания постороннего предмета (шайбы, гайки и пр.) или обрыва бандажа;

г) пробой от коммутационных перенапряжений и попадания на обмотку влаги.

Обрыв в обмотке якоря. При обрыве обмотки размыкается цепь между двумя или несколькими ламелями.

Если на поверхности коллектора имеются подгары двух пар противоположно расположенных ламелей в двухполюсной машине, то обрыв произошел только в одной секции.

Если же подгорело большое количество ламелей, можно предполагать, что обрыв имеется в нескольких секциях.

Причинами обрыва обмотки якоря могут быть:

а) перегорание соседних витков одной секции в результате межвиткового замыкания;

б) перегорание витков в результате пробоя обмотки на корпус или на бандажи;

в) распаяны петушки одной секции вследствие некачественной пайки;

г) распаяны петушки в результате длительного перегруза обмотки якоря;

д) перегорание впаянных в петушки флажков в результате попадания на них постороннего предмета;

е) облом флажков при ослаблении крепления щеткодержателей (механическое перетирание);

ж) отгорание и облом проводников рядом с петушками вследствие надлома их при укладке в петушки при намотке (в основном у машин мощностью до 1 квт);

з) обрывы концов обмотки у петушков вследствие вибрации машины.

Межвитковое замыкание в обмотке якоря. Изоляция, которой покрыт голый обмоточный провод, является витковой изоляцией.

Повреждение изоляции провода приводит к межвитковому замыканию, т. е. электрическому соединению двух или нескольких рядом лежащих проводников (витков). В результате замыкания проводников они образуют один или несколько короткозамкнутых витков, в которых индуктируется ток, превышающий нормальный в несколько десятков раз.

Под действием увеличенной силы тока обугливается изоляция замкнутых витков, а в местах замыкания проводники перегорают из-за большого нагрева.

Замыкание проводников одной секции может происходить в пазу и в лобовой части обмотки якоря. Замыкание проводников двух соседних секций может происходить в лобовой части обмотки. Замыкание проводников двух секций может произойти также в результате пробоя этих секций на один и тот же бандаж.

Одной из разновидностей виткового замыкания является пробой изоляции между соседними ламелями коллектора, что приводит к обугливанию изоляции витков под действием большой силы тока.

При межвитковом замыкании повреждается не только обмотка якоря, но и подгорает поверхность коллектора из-за сильного искрения щеток.

Возможны следующие причины витковых замыканий:

а) некачественная укладка проводников секций в пазы, вследствие чего может быть перекрещивание проводников разных рядов,

напряжение между которыми значительно выше нормального, на которое рассчитана витковая изоляция; перекрещивание проводников влечет за собой продавливание витковой изоляции. Перекрещиванию проводников способствует неправильная намотка секций, при которой витки кладутся произвольно, а не виток рядом с витком;

б) неплотная укладка в пазы витков и секций приводит к их перемещению от динамических усилий, в результате которых происходит перетирание изоляции соседних проводников;

в) слабая намотка бандажей на лобовых частях якоря приводит к повреждению изоляции проводников в лобовой части от центробежных и динамических усилий;

г) отсутствие межсекционных прокладок в лобовых частях либо некачественная их укладка приводит к повышенному напряжению между лежащими рядом витками;

д) загрязнение коллектора пылью со щеток приводит к замыканию соседних ламелей.

Обрыв уравнительных соединений. Уравнительные соединения применяются в якорях с петлевой и сложноволновой обмоткой.

Уравнительные соединения представляют собой перемычки, соединяющие точки параллельных ветвей, имеющие одинаковые потенциалы и расположенные под одноименными полюсами.

Уравнители припаиваются к концам секций обмотки либо к коллекторным пластинам и располагаются в лобовой части на обмоткодержателе.

Назначение уравнительных соединений в якорях с петлевой обмоткой следующее. Магнитные потоки отдельных полюсов в электромашине могут быть не равны, а значит и э. д. с. отдельных параллельных ветвей обмотки будут также не равны: это вызовет протекание уравнительных токов в параллельных ветвях обмотки.

Уравнительные токи могут достигать значительных величин, так как протекают по цепи с небольшим сопротивлением и вызывают дополнительный нагрев обмотки и повышенное искрение под щетками.

Уравнительные соединения создают обходный путь уравнительным токам, разгружая щетки от уравнительных токов и выравнивая потоки отдельных полюсов.

Причинами неравенства магнитных потоков машины могут быть:

а) неоднородность материала магнитной цепи (раковины в литье, недоброкачественная шихтовка железа полюсов);

б) неодинаковые воздушные зазоры между полюсами и якорем, вызванные неправильностью сборки электромашины, а также выработкой подшипников.

Обрывы уравнительных соединений происходят: из-за некачественной пайки; облом провода в местах пайки от центробежных усилий; плохое крепление уравнителей.

Об обрыве уравнительных соединений можно судить по повышенному нагреву якоря электромашины при холостом ходе и повышенному искрению при работе.

Искрение под щетками. Машины постоянного тока часто работают с искрением под щетками. Интенсивность искрения различна и оценивается степенью искрения.

Степени искрения устанавливает ГОСТ 183—66 (табл. 1).

Таблица 1

КЛАССИФИКАЦИЯ ИСКРЕНИЯ ПОД ЩЕТКАМИ У ЭЛЕКТРОМАШИН

Степень искрения (класс коммутации)	Характеристика степени искрения	Состояние коллектора и щеток
1	Отсутствие искрения (темная коммутация)	Отсутствие почернения на коллекторе и нагара на щетках
$1^1/_4$	Слабое точечное искрение под небольшой частью щетки	
$1^1/_2$	Слабое искрение под большей частью щетки	Появление следов почернения на коллекторе, легко устраняемых протиранием поверхности коллектора бензином, а также следов нагара на щетках
2	Искрение под всем краем щетки. Допускается только при кратковременных толчках нагрузки и перегрузки	Появление следов почернения на коллекторе, не устраняемых протиранием поверхности коллектора бензином, а также следов нагара на щетках
3	Значительное искрение под всем краем щетки, с наличием крупных и вылетающих искр. Допускается только для моментов прямого (без реостатных ступеней) включения или реверсирования машин, если при этом коллектор и щетки в состоянии, пригодном для дальнейшей работы	Значительное почернение на коллекторе, не устраняемое протиранием поверхности коллектора бензином, а также подгар и разрушение щеток

При классах искрения 1; 1 1/4 и 1 1/2 коммутация практически считается без искрения и допускается для всех номинальных режимов.

Хорошая коммутация электромашины исключает искрение под щетками. Однако небольшое искрение под сбегающим краем щетки, так называемое точечное искрение, не представляет опасности для электромашины; характеризуется шаровидными искрами малого размера, окрашенными в белый или бело-голубоватый и даже с красноватым оттенком цвет. Это касается также небольших искр капле-

видной формы с беловатым или голубовато-белым оттенком в больших электромашинах.

Искрение под многими щетками с шаровидными искрами диаметром порядка 1 мм или вытянутыми каплеобразными искрами с желтоватой окраской указывает на нарушение коммутации электромашины.

Когда искры выскакивают из-под щеток острием и щеточный огонь имеет форму треугольника или язычка с желтовато-зеленым оттенком, свидетельствующим об испарении коллекторной меди под действием электрической дуги под щеткой, искрение считается опасным и надо принять немедленные меры по его устранению (нельзя оставлять электромашину в эксплуатации на продолжительное время).

«Брызгающее» искрение — огненные брызги — является самым опасным искрением, так как при этом искрении происходит оплавление коллектора; нельзя оставлять электромашину в работе с таким дефектом.

Повышенное искрение под щетками вызывает подгар коллекторных пластин, их почернение, преждевременный износ и при длительной работе — выход из строя коллектора. В этом случае коллектор необходимо протачивать на токарном станке, а затем вновь формовать. В ряде случаев такое искрение щеток приводит к общему перегреву коллектора, распайке соединений в коллекторных пластинах, старению изоляции коллектора, ослаблению крепежа коллектора, подгару щеткодержателей и выходу их из строя, разрушению щеток. В результате усиленного искрения ухудшается коммутация машины, обмотка якоря работает в ненормальных условиях, что вызывает нарушение ее изоляции. Таким образом, появление повышенного искрения может привести к полному разрушению якоря машины.

Для того чтобы яснее представлять себе причину появления искрения под щетками, необходимо ознакомиться с процессом коммутации в якоре. При вращении якоря в определенный момент щетка замыкает две рядом лежащие коллекторные пластины, а значит замыкает накоротко расположенную между обеими коллекторными пластинами часть обмотки. В закороченной обмотке благодаря э. д. с. самоиндукции возникает ток, который по мере продвижения якоря под полюсами изменяется по величине и направлению. Этот добавочный ток, вызванный э. д. с. самоиндукции, нарушает равномерность распределения тока по площади щетки: на сбегающем крае щетки плотность тока выше, на набегающем — ниже (рис. 7) (со сбегающего края щетка обычно больше подгорает и разрушается). Это явление и вызывает искрение под щетками на коллекторе.

Пробой обмотки якоря на бандажи. При эксплуатации электрических машин постоянного тока встречаются случаи пробоя обмотки на бандажи. Иногда бывает и многократный пробой обмотки на бандаж. Пробой обмотки на бандаж приводит к перегоранию и разматыванию бандажа и повреждению изоляции секций, а затем — к пробою секций на зубцы паза. Куски бандажа

врезаются в обмотку в пазовой части, происходит многократное замыкание обмотки на корпус, переходящее в витковое замыкание, медь в месте повреждений расплавляется, заливает паз и активное железо зубцов. При ремонтах чистка пазов от наплава меди чрезвычайно затруднительна, так как напильники «не берут» медножелезистый сплав (для этих целей используют переносный наждачный камень). Разорванный бандаж повреждает главные и дополнительные полюса. Как правило, пробой обмотки на бандаж происходит на пазовых бандажах, пробой на бандажи в лобовых частях — явление редкое.

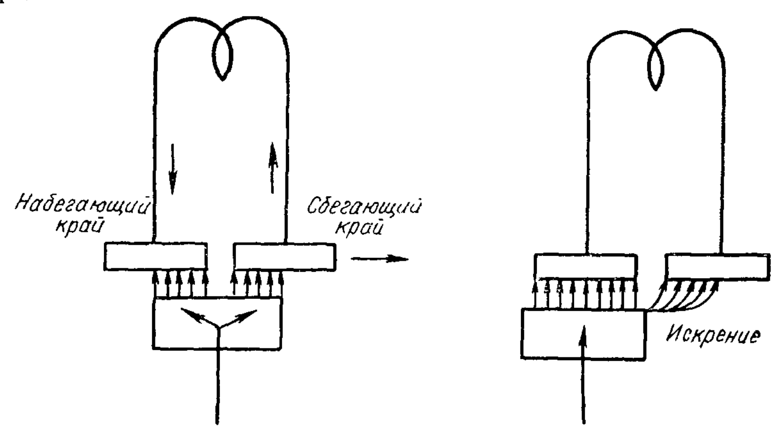


Рис. 7. Схема искрения под щетками

Причинами пробоя обмотки на бандажи могут быть:

а) слабая намотка бандажа — натяжение проволоки при намотке бандажа ниже нормального; бандажи намотаны без предварительного обжатия лобовых частей; по указанной причине бандаж имеет возможность совершать круговое перемещение при пусках и реверсах машины, что приводит к перетиранию изоляции под бандажом и на секциях;

б) бандаж намотан с чрезмерным натяжением проволоки, в результате чего повреждена изоляция под бандажом в одном или нескольких местах; возможны разрывы изоляции под бандажом вдоль витка и вдавливание витков бандажа в изоляцию секции, что приводит к нарушению изоляции между проводом и бандажом;

в) секции по высоте не полностью запрессованы в паз и выступают выше активного железа. При намотке бандажа даже при нормальном натяжении проволоки происходит протирание изоляции в местах перехода от секции на активное железо якоря;

г) изоляция под бандажом пересохла, местами обломалась и искрошилась, бандаж ослаб и нарушил изоляцию в секциях;

д) изоляция под бандажом и на секциях в местах соприкосновения с бандажом подгорела и разрушилась в одном или нескольких местах. Это может быть вызвано нарушением технологии пайки бандажа (пользование перегретым паяльником или же перегрев

бандажа при пайке вследствие длительной пайки или же олово попало на изоляцию под бандаж);

е) бандаж раздвинулся, начало или конец бандажа поднялся и цепляет за полюса; бандаж разматывается. Это может быть следствием неправильной намотки, пайки бандажей и задела в замках концов бандажа.

Выпучивание лобовой части обмотки якоря, разрыв бандажей и разнос. Обмотка якоря и бандажи машин постоянного тока рассчитаны на определенное максимальное число оборотов, которое указано в техническом паспорте. При значительных превышениях числа оборотов происходит выпучивание лобовых частей обмотки якоря и разрыв бандажей под действием увеличенных центробежных усилий, при этом возможен разнос электромашины (выбрасывание обмотки якоря из пазов, обрыв петушков, разрыв станины, рис. 8, *а*, *б*).

Число оборотов якоря двигателя постоянного тока определяется по формуле

$$n = \frac{U - I_я R_я}{C\Phi},$$

где U — напряжение сети, приложенное к якорю;
$I_я R_я$ — падение напряжения в обмотке якоря;
C — постоянная величина, зависящая от числа проводников обмотки якоря и числа параллельных ветвей;
Φ — величина магнитного потока, создаваемого главными полюсами машины.

Из формулы видно, что при уменьшении Φ или увеличении U число оборотов n возрастает. При обрыве обмотки возбуждения у машины с параллельным возбуждением Φ уменьшается до нуля, при этом число оборотов будет возрастать до бесконечно большой величины. Обрыв цепи возбуждения может быть: в регулировочном сопротивлении, подводящих проводах, при перегорании витков катушки возбуждения.

Обрыв цепи возбуждения и является, как правило, одной из основных причин разноса машины.

Включение машины с последовательным возбуждением без нагрузки, при обломе пальцев в соединительной муфте или срезе шпонки также приводит к значительному увеличению числа оборотов, так как магнитный поток Φ резко снижается.

Кроме указанных, могут быть и другие причины разноса. Так, значительное повышение напряжения сети, подаваемого на якорь двигателя с независимым возбуждением, может привести к опасному повышению числа оборотов.

Возможен разнос электродвигателей при неисправности тормоза механизма подъема мостового крана. В этом случае тормоз не затормаживает двигатель; поднятый груз под действием силы тяжести быстро падает и через редуктор разгоняет якорь двигателя выше допустимых оборотов. Спуск груза массой, превышающей грузоподъемность крана, вызовет падение груза, так как в этом случае

двигатель не удержит груз и якорь разовьет обороты выше нормальных.

Из сказанного видно, что нарушение правил технической эксплуатации может привести к выходу электродвигателей из строя.

Повреждение катушек главных и дополнительных полюсов. Катушки главных и дополнитель-

Рис. 8. Двигатель постоянного тока после разноса:
а — якорь и индуктор; *б* — вид со стороны якоря

ных полюсов крепят на стальных сердечниках. Катушки изолированы от корпуса миканитом, наклеенным на стальной сердечник, и общая изоляция катушки выполнена из микаленты.

Причиной пробоя катушек на корпус (рис. 9) может быть неплотная напрессовка их на сердечник; в результате создается возможность перемещения катушки по сердечнику, что приводит к протиранию изоляции. Изоляция катушек резко ухудшается при попадании

на них влаги. Короткое замыкание, вызванное пробоем на корпус, может произойти в случае повторного заземления цепи с потенциалом другого знака.

Межвитковое замыкание, как правило, происходит в катушках параллельного возбуждения. Основные причины виткового замыкания: слабое крепление витков при намотке катушки, перекрещивание проводов, отсутствие прокладок между рядами, некачественная пропитка катушки. Указанные причины приводят к взаимному перемещению витков от динамических усилий, перетиранию изоляции и в конечном результате пробою изоляции. Межвитковое замыкание в катушке возможно из-за дефектов изоляции обмоточного провода. Длительный перегрев обмоток полюсов также приводит к разрушению изоляции.

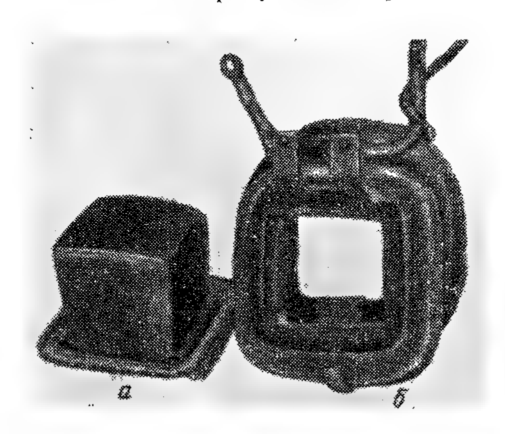


Рис. 9. Повреждение катушки главного полюса из-за пробоя изоляции на корпус:
а — полюс; *б* — катушка

Обрыв в цепи катушек возбуждения происходит при некачественной пайке наконечников. В этом случае место пайки перегревается из-за увеличенной плотности тока и возможно распаивание. Распайка схем соединения чаще всего имеет место в последовательных обмотках.

Обрыв в цепи параллельных обмоток происходит при межвитковых замыканиях, пробое на корпус и механических повреждениях соединительных проводов. Обрывы цепей параллельного возбуждения как в обмотке, так и в регулировочном сопротивлении или в соединительных проводах могут вызвать недопустимое перенапряжение, с пробоем изоляции и межвитковыми замыканиями, так как спадающий магнитный поток наводит в катушках э. д. с. самоиндукции значительной величины. Также опасны резкое снижение возбуждения или резкий сброс нагрузки генератора.

Биение коллектора. Причинами биения являются небаланс якоря; неправильная центровка электромашины с приводным агрегатом; погнутость вала якоря; ослабление посадочных мест в подшипниковых щитах и в подшипниках на валу; неправильная, эксцентричная расточка коллектора и ослабление крепления коллектора с выпучиванием пластин.

Биение коллектора приводит к нарушению коммутации машины и повышенному искрению, преждевременному износу коллектора, выходу из строя щеток и щеточного аппарата.

В случае погнутого вала и эксцентричной расточки коллектор вырабатывается с одной стороны окружности.

Подгар каждой второй, третьей или четвертой коллекторной пластины обычно может иметь место в электрической машине, где

в каждом пазу находится два, три или четыре параллельных витка. Это происходит в результате неодинаковых магнитных условий для каждого витка одного и того же паза. В момент замыкания щеткой коммутируемой секции проводники последней должны находиться под серединой полюсов, так как только в этом случае э. д. с. секции равна нулю. При вращении якоря один из его пазов проходит постепенно под полюсом, некоторые же параллельные проводники оказываются не под серединой полюса и в них появляется э. д. с., которая вызывает подгар соответствующих им коллекторных пластин. Это устраняют путем сдвига щеток на пальцах таким образом, чтобы больше перекрывалось коллекторных пластин. Этим самым создаются примерно одинаковые магнитные условия в коммутируемой секции. Кроме того, зона коммутации может быть расширена за счет изменения воздушного зазора между якорем и дополнительными полюсами. Небаланс якоря, неправильная центровка и ослабление посадочных мест приводят к почернению всех коллекторных пластин из-за обрыва токовой цепи между щеткой и коллектором.

Почернение каждой третьей или четвертой пластины коллектора также может происходить из-за ослабления крепления коллекторных пластин в конусах.

Облом флажков (петушков) у основания коллектора возможен при ослаблении посадки коллектора и баббины якоря на валу, т. е. коллектор и баббина перемещаются относительно друг друга.

Механические неисправности в машинах постоянного тока приводят к выходу из строя обмоток якоря, полюсов, повреждению коллектора.

Ослабление крепления полюсных башмаков вызывается недостаточной затяжкой болтов, отсутствием стопорных шайб под головкой болта, неполноценной резьбой на болте или в теле башмака, перекосом болта во время затяжки. При установке полюсов на машину возможны случаи попадания краев металлических или картонных распорных прокладок между сердечником и корпусом, что вызывает появление воздушного зазора и ослабление крепления полюса.

В процессе эксплуатации у реверсивных машин возможны случаи ослабления посадки на валу активного железа и среза шпонки, что ведет к обламыванию петушков и концов секций.

Посадочные места подшипниковых щитов в корпусе разрабатываются вследствие ослабления болтового крепления, что вызывает перемещения подшипникового щита относительно корпуса.

Разработка посадочных мест подшипников в щитах и на валу происходит в результате неправильной сборки, когда наружная обойма подшипника не фиксируется фланцами и подшипник перемещается в осевом направлении и может проворачиваться в гнезде щита и на валу. Продольное перемещение подшипников вместе с валом может привести к поломке вентилятора о подшипниковый щит или полюса. Все это приводит к затиранию железа якоря о башмаки полюсов и повреждению обмоток. В металлургической промышленности встречаются случаи излома рабочего конца вала вследствие тяжелых режимов работы и частых реверсов под нагруз-

кой. Вибрация машины и неправильная центровка приводят к облому лап крепления электромашины к постели.

Повреждение токосъемного механизма. Причинами повреждения токосъемного механизма (щеток, щеткодержателей, пальцев, траверс) может быть вибрация электромашины, чрезмерное искрение на коллекторе, неравномерное распределение нагрузки на щетки, слабые контакты в местах болтовых соединений, неравномерное нажатие щеток, неплотное крепление пальцев и щеткодержателей, увеличенный зазор между щеткой и щеткодержателем, увеличенный или уменьшенный зазор между щеткодержателем и коллектором, перенапряжение в машине (круговой огонь), загрязненность токосъемного механизма и коллектора.

2. КОММУТАЦИЯ

Процесс коммутации является следствием переключения секции обмотки якоря из одной параллельной ветви в другую с изменением направления тока в этих секциях при коротком замыкании их щетками. На процесс коммутации влияют факторы электромагнитного, механического, электротехнического и других процессов. Они настолько тесно связаны между собой, что отделить их порой невозможно. Неудовлетворительная коммутация выражается в различного характера искрении под щетками, наиболее тяжелые формы искрения приводят к порче коллектора и щеток.

Сущность коммутационного процесса

Для выяснения сущности коммутации рассмотрим секции простой петлевой обмотки (рис. 10) шириной щетки $b_щ$, равной ширине коллекторной пластины, $b_щ = b_к$ (толщина изоляции между коллекторными пластинами не учитывается). Сила тока в каждой ветви обмотки якоря равна I_{aa}. В начальный момент $t = 0$ щетка находится под пластиной *2* (рис. 10, *а*). Сила тока распределяется так: в проводнике *cd* сила тока $i_2 = 2I_{aa}$, этот ток идет в пластину *2*, щетку и во внешнюю сеть. В проводнике *ab* сила тока $i_1 = 0$, а по секции *aoc*, подсоединенной к пластинам *1* и *2*, течет ток силой I_{aa} от узла *a* к узлу *c*. Направление тока положительное, $i = +I_{aa}$. Через время $T_с$ щетка перемещается с пластины *2* на пластину *1* (рис. 10, *б*). В этот конечный момент коммутации $t = T_с$ сила тока $i_2 = 0$, сила тока $i_1 = 2I_{aa}$, а по секции *aoc* ток течет от узла *c* к узлу *a*, $i = -I_{aa}$. Значит, за время $T_с$ сила тока в секции изменилась от $+I_{aa}$ до $-I_{aa}$ или на $2I_{aa}$. Этот процесс изменения силы тока называется коммутацией тока и является сущностью явлений, образующих коммутационный процесс. Время $T_с$ — время коммутации тока в секции называется периодом коммутации, $T_с \approx 0{,}001$ с. Время $T_п$ — время окончания процесса коммутации в секции, когда секция перемещается от щетки одной полярности к щетке другой полярности. Это время примерно равно 0,02 с. Кривая изменения силы тока в секции при вращении якоря почти

прямолинейна. В промежуточный момент времени щетка может перекрывать две коллекторные пластины *1* и *2* (рис. 10, *в*). Присоединенная к пластинам *1* и *2* секция *аос*, в которой происходит

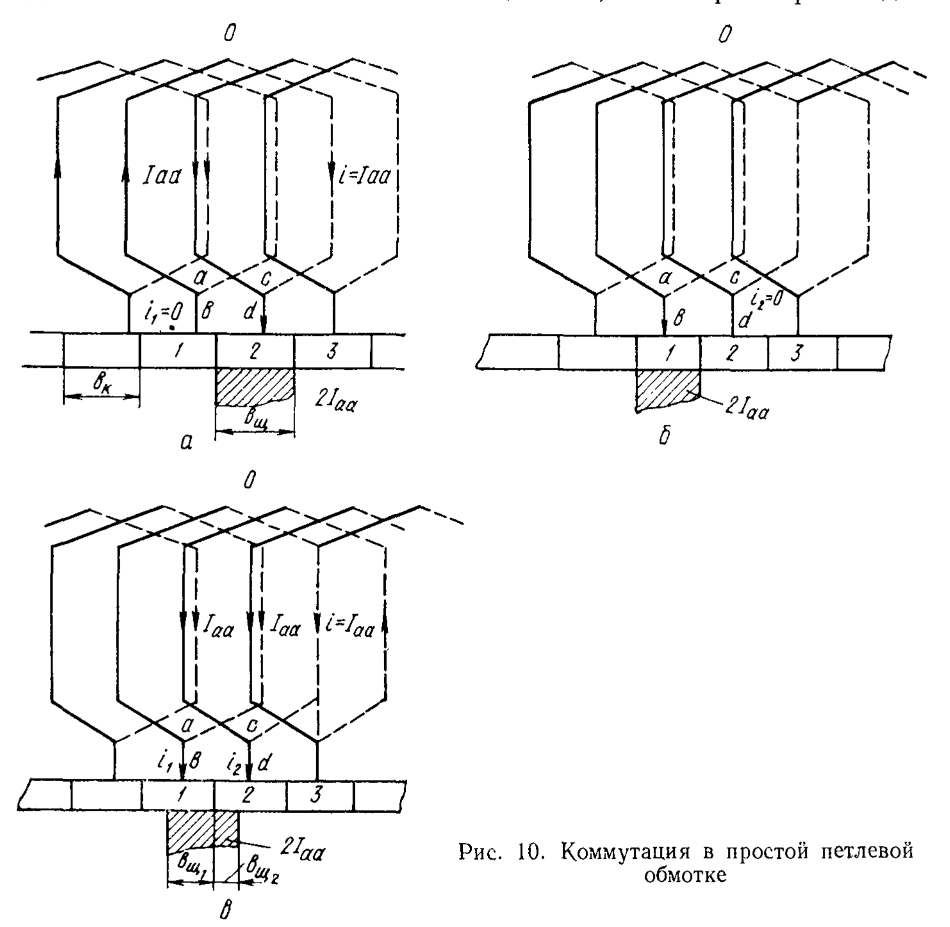


Рис. 10. Коммутация в простой петлевой обмотке

процесс коммутации, образует замкнутую цепь. Применив к этому контуру 2-й закон Кирхгофа, получим

$$\sum e = \sum ir,$$

т. е. алгебраическая сумма э. д. с. $(\sum e)$ равна алгебраической сумме падений напряжений $(\sum ir)$.

Электродвижущая сила коммутируемого контура

Якорь в электрической машине вращается с определенной скоростью, а в коммутируемой секции наводятся электродвижущие силы (э. д. с.).

1. Реактивная e_r, состоящая из э. д. с. самоиндукции e_L и э. д. с. взаимоиндукции $e_м$. За время коммутации $T_с$ сила тока в коммути-

руемой секции изменяется от $+I_{aa}$ до $-I_{aa}$, соответственно этому изменяется и магнитный поток, сцепленный с этой секцией с $+\Phi_c$ до $-\Phi_c$. Изменение потока вызывает э. д. с. самоиндукции

$$e_L = \frac{d(L_c, i)}{dt},$$

где L_c — индуктивность коммутируемой секции.

При перекрытии щеткой нескольких коллекторных пластин происходит переключение нескольких рядом лежащих секций, каждая из которых наводит в рассматриваемой коммутируемой секции э. д. с. взаимоиндукции $e_м$. Э. д. с. самоиндукции и взаимоиндукции задерживают изменение силы тока в коммутируемой секции.

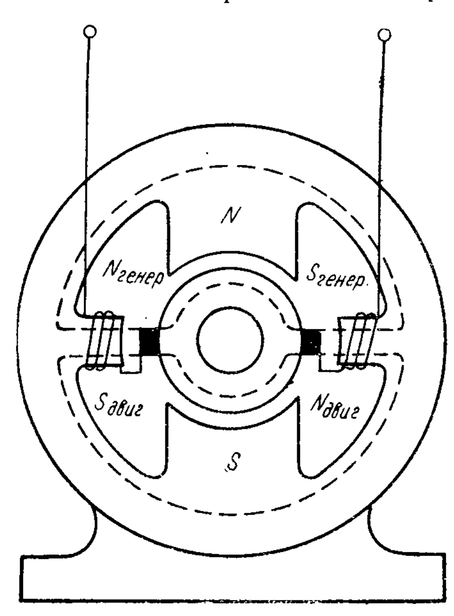


Рис. 11. Схема включения дополнительных полюсов

2. Коммутирующая $e_к$ возникает при пересечении сторонами коммутируемой секции магнитного поля, которое всегда существует в зоне коммутации. Это поле создается реакцией якоря и дополнительными полюсами. Знак $e_к$ зависит от полярности внешнего поля, в котором находится коммутируемая секция, т. е. $e_к$ может иметь направление, согласное с e_r, и наоборот:

$$e_к = 2w_c U_a l B_к,$$

где l — активная длина секции;
w_c — число последовательно соединенных витков секции;
$B_к$ — индукция в коммутируемой секции.

В создании э. д. с. $e_к$ участвуют обе стороны коммутируемой секции. По закону электромагнитной индукции в коммутируемом контуре, кроме возникших э. д. с., существуют и падения напряжений: $i_1 \cdot r_{щ1}$, $i_2 \cdot r_{щ2}$, $i_1 R_п$, $i_2 R_п$, iR_c, где $r_{щ1}$ и $r_{щ2}$ — сопротивления контактов щеток с коллекторными пластинами 1 и 2; $R_п$ — сопротивления проводов ab и cd и R_c — сопротивление секции.

Искрение щеток на коллекторе объясняется увеличением силы тока в сбегающей части щетки из-за наложения на рабочий ток дополнительного тока от реактивной э. д. с. e_r, который в сбегающем крае щетки имеет то же направление. Компенсация e_r осуществляется установкой дополнительных полюсов, включенных последовательно якорю (рис. 11).

Причины искрения потенциального и коммутационного характера

Распределение потенциала по окружности коллектора оказывает большое влияние на коммутацию. Наибольшее напряжение между двумя соседними пластинами коллектора

$$U_{\text{кт}} = \frac{U}{k/2p} = 2p\frac{U}{k},$$

где k — число коллекторных пластин между двумя разноименными щетками;
U — напряжение между этими же щетками;
$2p$ — число основных полюсов машины.

На практике наблюдается, что коммутация протекает спокойно, если $U_{\text{кт}} < 25 \div 28$ в у машин большой мощности; 30—35 в — у машин средней мощности и 50—60 в — у машин малой мощности. Если $U_{\text{кт}}$ превышает эти величины, то слюдяная изоляция между двумя соседними пластинами коллектора перекрывается дугой через металлическую и угольную пыль на коллекторе. Дуга вызывает ионизацию воздуха возле коллектора, что способствует образованию других более мощных дуг. Вращение коллектора способствует усилению дуги. Нормальная эксплуатация машины нарушается. Если резко изменяется нагрузка или происходит короткое замыкание, то дуги превращаются в круговой огонь на коллекторе, который представляет собой мощную дугу, замыкающуюся на коллекторе между разноименными щетками или перекидывающуюся на корпус машины. Круговой огонь очень опасен, так как он может вызвать повреждение машины и выход ее из строя. Бросок силы тока вызывает значительное увеличение реактивной э. д. с. e_r в коммутируемой секции, и коммутация приобретает замедленный характер. В момент броска силы тока в щеточном контакте выделяется значительная энергия, которая вызывает возрастание переходного падения напряжения и приводит к образованию между сбегающей коллекторной пластиной и краем щетки мощной коммутационной дуги. Эта дуга благодаря вращению коллектора растягивается и под действием электродинамических сил движется по коллектору с большой скоростью, превышающей окружную скорость коллектора.

Основное поле вследствие реакции якоря искажается, и распределение потенциала между коллекторными пластинами резко нарушается. Резкое нарастание напряжения между щеткой и коллекторными пластинами, удаляющимися от сбегающего края щетки, вызывает увеличение коммутационной дуги и ее быстрое движение по коллектору. Дуга может в какой-то точке коллектора гаснуть и вновь возникать, более интенсивно передвигаться по коллектору, чему будет способствовать ионизация окружающего воздуха. Коммутационные дуги сливаются с потенциальными дугами и образуют вокруг коллектора сплошное огненное кольцо.

Современная оценка коммутационного процесса

Наиболее близко к истине предположение о том, что искрение возникает тогда, когда замкнутый щеткой контур имеет в момент размыкания запас электромагнитной энергии, равный

$$\frac{1}{2} L_r i_k^2,$$

где L_r — индуктивность коммутируемого контура;
$i_к$ — добавочный ток коммутации.

Проведенные исследования К. И. Шенфера и С. Б. Юдицкого показали, что в момент замедленной коммутации искрение является следствием небаланса реактивной и коммутирующей э. д. с.:

$$e_{нб} = e_r + e_к.$$

Но если этот небаланс не превышает критического значения,

$$e_{нб} < e_{кр},$$

то сила тока $i_к$ в момент размыкания коммутирующего контура практически равна нулю и искрения не будет. Если же $e_{нб} > e_{кр}$, сила тока $i_к$ может быть большой и в момент размыкания коммутирующего контура запас электромагнитной энергии рассеивается искрой под сбегающим краем щетки. При перегрузках и особенно при коротких замыканиях энергия, выделяемая на коллекторе, превращается в коммутационные дуги между щетками, которые могут перерасти в круговой огонь на коллекторе.

Пути улучшения коммутации

А. Смещение коммутируемой секции с нейтрали

Для того чтобы машина имела коммутацию, близкую к прямолинейной, необходимо ограничить силу тока коммутации $i_к$. Это достигается уменьшением э. д. с. $e_r + e_к$ за счет смещения коммутируемой секции с геометрической нейтрали. Для улучшения коммутации у генератора траверсу со щетками смещают по направлению вращения якоря, у двигателя наоборот. При увеличении нагрузки смещение должно быть большее, при уменьшении нагрузки — меньшее. Это условие и является недостатком этого метода.

Б. Установка дополнительных полюсов

Дополнительные полюса устанавливают между главными полюсами по линии геометрической нейтрали. У генераторов дополнительный полюс имеет полярность того главного полюса, на который якорь набегает, у двигателей наоборот. Длина дополнительных полюсов такая же, как и главных. Зазор между якорем и дополни-

тельными полюсами у машин небольшой мощности вдвое больше, чем зазор между якорем и главными полюсами. У крупных машин между дополнительными полюсами и станиной ставятся прокладки из немагнитного металла. Кроме того, под сердечник дополнительного полюса ставится прокладка из листовой стали. Комбинациями этих прокладок меняется величина $B_к$, без изменения зазора между полюсом и якорем. Немагнитные прокладки позволяют уменьшить зазор между полюсом и якорем, чем ослабляется несимметрия коммутирующего поля, вызванная влиянием соседних главных полюсов. Число дополнительных полюсов иногда берется меньше числа главных полюсов, так у двухполюсных машин ставится один дополнительный. Дополнительные полюса оказывают на основное поле размагничивающее действие при смещении щеток по направлению вращения якоря.

В. Установка компенсационной обмотки

Дополнительные полюса компенсируют магнитодвижущую силу (м. д. с.) якоря только в зоне коммутации, вне ее реакция якоря искажает основное поле, что приводит к потенциальному искрению, а затем и к круговому огню. Наиболее эффективным средством борьбы с круговым огнем является установка компенсационной обмотки. В пазы активного железа главных полюсов укладывают медные стержни, которые между собой и обмоткой якоря соединяют последовательно. М. д. с. компенсационной обмотки направлена навстречу м. д. с. якоря и равна ей по величине. Таким образом, осуществляется компенсация реакции якоря. Стержни от корпуса изолируют.

Г. Укорочение шага обмотки

Для улучшения коммутации укорачивают шаг обмотки на единицу, что позволяет в два раза уменьшить поток вокруг активных сторон и соответственно уменьшить э. д. с. e_L. К тем же результатам приводит и применение ступенчатых обмоток.

Д. Выбор щеток

В настоящее время в машинах постоянного тока применяются электрографитированные и графитные щетки. Рекомендуемая марка щетки указывается в паспорте машины. Из характеристик щеток наибольшее значение имеет зависимость падения напряжения в щеточном контакте $\Delta U_щ$ от плотности тока под щеткой $j_щ$. Кроме плотности тока, на величину $\Delta U_щ$ влияют давление на щетку, окружная скорость коллектора, температура коллектора, состояние контакта щетки. Хорошая работа скользящего контакта обеспечивает отсутствие искрения, которое повреждает щетки и коллектор, вызывает их повышенный износ. Для быстроходных машин следует брать щетки с малым коэффициентом трения.

Е. Устранение механических повреждений

Эксцентриситет и плохая балансировка якоря, недостаточно точная формовка коллектора, выступание слюдяных прокладок между ламелями, дефекты щеткодержательного устройства, неправильный выбор щеток — вот факторы, ухудшающие условия коммутации. Все они должны быть прежде всего тщательно изучены и определен объем работ при появлении и развитии искрения на коллекторе.

Таблица 2

ДОПУСКАЕМЫЕ УСИЛИЯ ЗАТЯЖКИ ШПИЛЕК (БОЛТОВ) ПРИ ОПРЕССОВКЕ КОЛЛЕКТОРОВ (РЕЗЬБА МЕТРИЧЕСКАЯ, ДЛИНА РЫЧАГА 1,2 *м*)

Диаметр шпильки *мм*	Усилие (*кг*) для шпилек из стали		
	Ст. 3	35	40
20	7,9	12,5	25
22	10,8	17,5	35
24	13,3	21,5	43
27	20	31,5	63
30	26,5	43	86,5
36	48	76,5	153

Машина подлежит полной разборке с выемкой якоря.

1. Для формовки коллектор вначале простукивают молотком. Глухие удары молотка определяют необходимость формовки. Электрогрелками коллектор подогревают до 150° С и ключом подтягивают болты (см. табл. 2). Подтяжку болтов следует осуществлять последовательно каждую пару противоположных по диагонали до полной затяжки. Окончание затяжки определяют стуком молотка по коллектору: звонкий стук — затяжка закончена.

2. Если коллектор подработан и имеет неровную поверхность, то его следует проточить на токарном станке и отшлифовать стеклянной бумагой.

3. Для устранения эксцентриситета и балансировки якорь надо поставить на балансировочный станок. Произвести необходимую проверку, сделать соответствующие замеры и осуществить точную балансировку, установив балансиры в нужных местах.

4. Коллектор следует продорожить на глубину до 2 *мм*, а затем отшлифовать стеклянной бумагой во избежание поломки щеток о выступающий миканит.

5. Отбраковать щеткодержатели, негодные снять, тщательно установить новые.

6. Установить щетки, соответствующие по марке паспорту машины, обеспечить нужное нажатие на них, притереть щетки.

Момент затяжки на ключе подсчитывают по формуле

$$M_{кл} = 0{,}07\sigma_{тек} d^3 \text{ кГ·м},$$

где $\sigma_{тек}$ — предел текучести, $\sigma_{тек}$ для стали $35 = 2800$ кГ/см^2;
d — диаметр шпильки, мм.

Пробои обмотки на корпус. Ослабление в процессе работы посадочных мест подшипниковых щитов в корпусе машины и подшипников в подшипниковых щитах является наиболее частой причиной затирания железа ротора о железо статора, что приводит к перемещению зубцов железа, нарушению пазовой изоляции и последующему пробою обмотки статора или фазового ротора на корпус.

В горячих цехах механическое оборудование, работающее в условиях высокой окружающей температуры, охлаждается водой. Бывают случаи попадания воды на обмотки электродвигателей. Изоляция при этом резко ухудшается и происходит пробой обмоток на корпус.

При ремонтах электродвигателей с перемоткой обмоток возможна неплотная укладка обмоток в пазы, что приводит к перемещению в пазах жестких обмоток и перетиранию пазовой изоляции, особенно в местах выхода обмотки из паза. Это влечет за собой пробой на корпус.

При чрезмерно плотной укладке возможны повреждения пазовой изоляции проводом или пазовым клином. Намотка обмоток с укороченной лобовой частью может привести к разрыву изоляции на выходе из паза при посадке лобовых частей всыпных обмоток и, как следствие, пробою на корпус.

Удлиненные лобовые части могут вызвать касание проводом подшипниковых щитов и других металлических частей электромашины, т. е. пробою обмотки на корпус.

В системах с изолированной нейтралью пробой на корпус в одной из фаз системы вызывает повышение напряжения в других фазах в 1,73 раза, что при продолжительной работе электродвигателя может привести к пробою изоляции. Чаще пробой на корпус бывает у электромашин мощностью до 10 квт, где обмотки выполняются всыпными с большим количеством витков, так как в этом случае напряжение в пазу выше.

Пробои обмотки между фазами. При двухслойной петлевой обмотке катушки различных фаз статоров и фазных роторов в лобовых частях и в пазах пересекаются и находятся под значительным напряжением, намного превышающим напряжение между соседними витками своей катушки. При нарушении межфазовой изоляции происходит замыкание между фазами со значительным разрушением обмотки. В фазных роторах и статорах обычно выгорает часть обмотки в лобовой части (рис. 12, *б*).

В случаях длительного перегрева обмотки ее изоляция разрушается. Попадание влаги и грязи на обмотку также снижает диэлектрические свойства межфазовой изоляции и приводит к пробою между фазами.

При перемотке обмоток возможны случаи повреждения межфазовой изоляции: значительное осаживание при ремонте лобовых частей приводит к механическому повреждению изоляции; невни-

мательная бандажировка может вызвать смещение межфазных прокладок. Повреждение межфазной изоляции в пазу может быть в случаях небрежной посадки секций в паз (случаи межфазного перекрытия в пазу сравнительно редки; межфазному пробою в ло-

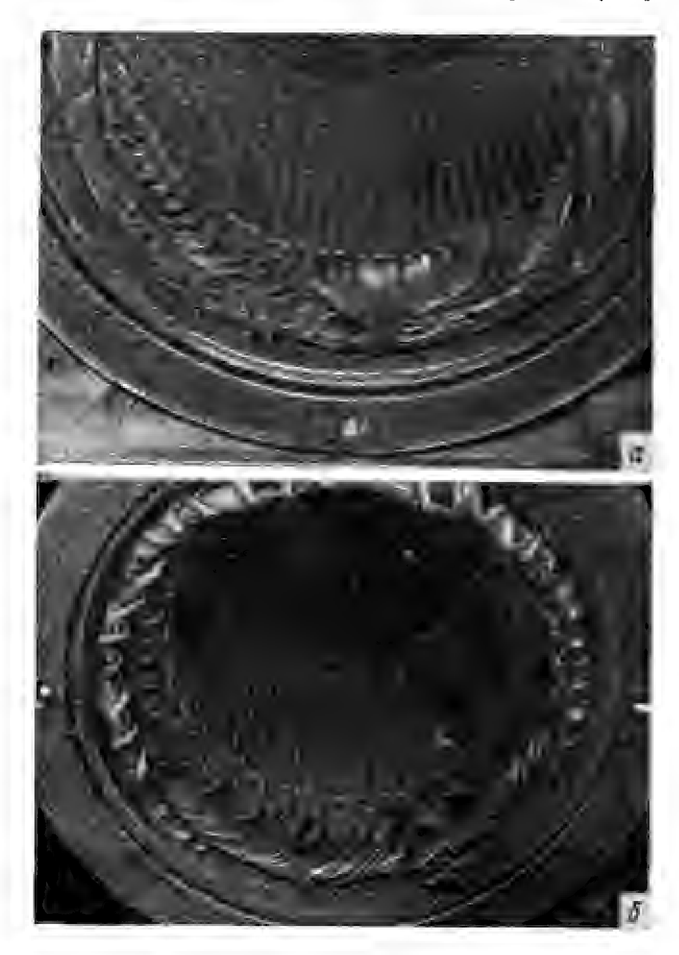


Рис. 12. Повреждение обмотки статора из-за межвиткового *а* и межфазного *б* замыкания

бовой части способствуют динамические усилия, испытываемые лобовыми частями обмотки при работе электромашины).

Межвитковое замыкание в статоре и роторе возможно как при всыпных, так и при жестких обмотках. Витковое замыкание приводит к появлению в короткозамкнутой части обмотки значительных токов и к обугливанию изоляции (рис. 12, *а*).

Наибольшие разрушения происходят при витковых замыканиях в лобовых частях нижних сторон секций и катушек. Витковые за-

мыкания в пазу—явление чрезвычайно редкое, оно возможно только в случаях небрежной укладки обмотки в паз. Причинами витковых замыканий могут быть:

а) недоброкачественная изоляция провода;

б) перетирание изоляции от динамических усилий при недостаточно прочной увязке и при осадке лобовых частей обмотки;

в) попадание большого количества токопроводящей пыли в обмотки стержневых роторов при небольших расстояниях между хомутиками;

г) попадание жидкой подшипниковой смазки на обмотку;

д) повреждение изоляции при поломке внутренних вентиляторов;

е) попадание внутрь электромашины посторонних предметов (шайбы, гайки, болта и др.).

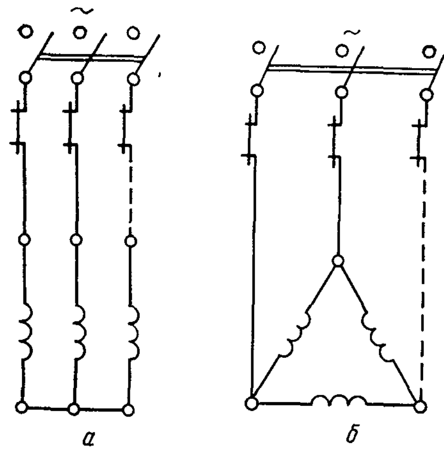


Рис. 13. Схема включений обмоток электродвигателя в случае обрыва одной фазы: *а* — соединение в звезду; *б* — соединение в треугольник

Обрыв обмотки происходит в результате: межвиткового замыкания; пробоя на корпус (в системах с заземленной нейтралью); пробоя между фазами; пробоя изоляции выводных концов; некачественной пайки схемы; слабого контакта в местах соединения подводящего кабеля с выводными концами обмотки; некачественной пайки наконечников на выводах. Причины и характер указанных повреждений рассмотрены выше.

Обугливание обмоток электродвигателей. Обугливание изоляции происходит в результате перегрузки электродвигателя, когда по обмотке статора протекает ток, превышающий номинальный, но не достаточный для расплавления провода. Обугливание изоляции всех трех фаз обмотки статора происходит при заклинивании вращаемого механизма, а также в случае длительной перегрузки электродвигателя.

Обугливание изоляции на двух фазах возможно в результате работы электродвигателя на двух фазах при обрыве цепи одной фазы (перегорание плавкой вставки предохранителя, обрыв подводящего провода и т. д.) у обмоток, соединенных в звезду (рис. 13, *а*). Двигатель, работающий на двух фазах, теряет мощность, перегружается (нагрузка на валу остается прежней), и, следовательно, по двум фазам будет протекать ток, превышающий номинальный (третья фаза, по которой ток не протекает, остается неповрежденной).

Обугливание изоляции в двух фазах также происходит в обмотке ротора при обрыве роторной цепи (в сопротивлении или в подводящем проводе в одной фазе). Ротор продолжает работать на двух фазах.

Обугливание одной фазы статора происходит при работе электродвигателя на двух фазах, при соединении обмоток в треугольник (рис. 13, *б*). В этом случае две фазы включаются последовательно и остаются неповрежденными, а третья, оставаясь под полным напряжением сети, обугливается (по ней протекает ток, в два раза больший, чем в двух других фазах).

Обугливание одной фазы статора с обмоткой, соединенной в звезду, происходит также и в случае короткого замыкания в подводящем кабеле, когда отгорает питающая жила одной фазы и эта фаза обмотки статора на выводах сваривается со второй фазой, оставаясь подключенной к неповрежденной фазе кабеля. В этом случае две фазы обмотки включаются между собой параллельно, а третья — последовательно им (рис. 14); обуглится изоляция третьей фазы от повышенного тока.

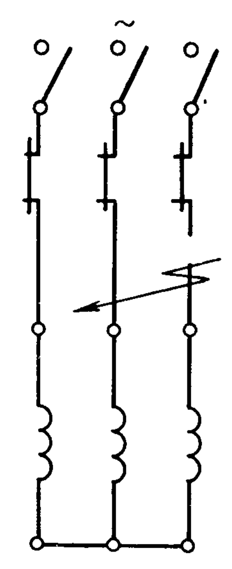


Рис. 14. Схема соедииеиия обмотки электродвигателя в случае перегораиия одной жилы в питающем кабеле и сваривания двух фаз

Пробой контактных колец на корпус и между фазами. Контактные кольца от корпуса изолируют миканитом, а между собой текстолитовыми шайбами (прокладками). Пробои на корпус контактных колец могут возникнуть вследствие попадания влаги и пыли на изоляцию, перегрева контактных колец во время работы. При этом изоляция разрушается, в ней появляются трещины, которые заполняются токопроводящей щеточной пылью и происходит пробой на корпус.

Чаще происходят пробои изоляции между фазами колец в местах пересечения выводной шинки одного кольца с кольцом другой фазы.

Помимо указанных, причинами пробоя между фазами могут быть: неплотная посадка колец на изоляцию, недостаточная изоляция шинок, механическое повреждение изоляции от неправильно установленных щеткодержателей, сильное искрение (под щетками).

Распайка хомутиков и пробой ротора на бандажи. Распайка хомутиков фазных роторов происходит при некачественной пайке их или при перегрузке электродвигателя. Припой вытекает, место соединения подгорает, отгорают концы обмотки, происходит обрыв цепи. При слабой изоляции под бандажом или продавливании ее при намотке бандажа может произойти пробой обмотки на бандаж. Наличие не менее двух мест соединения бандажа с обмоткой вызывает перегорание бандажа, размотку его и повреждение изоляции всей обмотки статора и фазного ротора.

Выпучивание лобовых частей обмотки фазного ротора и разрыв бандажей часто происходит у электродвигателей, установленных на механизмах

подъема. Неисправность тормоза подъема или превышение массы поднимаемого груза приводит к разносу ротора. При этом разрываются бандажи, выпучивается обмотка ротора, которая также повреждает обмотку статора (рис. 15).

Рис. 15. Ротор *а* и статор *б* после разноса

Облом выводов обмотки фазного ротора в местах соединения ее с кольцами и звездой. Выводы фаз обмотки ротора на кольца и звезду выполняют из шинной меди, имеющей размеры (в поперечном сечении) в высоту значительно больше, чем в толщину. В фазных роторах соединительную перемычку (кольцо) звезды обычно помещают с передней стороны ротора (у двигателей типа МТВ соединение в звезду распо-

ложено с задней стороны ротора). Частые реверсы электродвигателей, установленных, например, на манипуляторах прокатного поля, на манипуляторах молотов и т. п. механизмов, при частоте включений, превышающей 1000 в час, вызывают вибрацию соединительных шин выводов, а это приводит к излому вывода на одной из фаз, т. е. к работе обмотки на двух фазах.

Вследствие частых реверсов электродвигателя имеют место случаи качания на валу активного железа ротора вместе с обмоткой. Это приводит к срезу шпонки, разработке шпоночной канавки в активном железе и еще большей амплитуде качания активного железа вместе с обмоткой, что влечет за собой излом соединительных шин, который происходит вблизи соединения шины с короткозамыкающим кольцом звезды. Часто излом происходит под наружной изоляцией соединительных шин и с внешней стороны незаметен. Поэтому при ремонтах соединительные шины короткозамыкающего кольца должны изолироваться и проверяться.

Вибрация электродвигателя. Повышенная вибрация электродвигателя с фазным ротором вызывается небалансом ротора не только механическим, но и магнитным, возникшим в результате обрыва одной из параллельных ветвей или проводов обмотки ротора.

Механические неисправности и повреждения. В машинах переменного тока могут быть следующие механические повреждения: попадание постороннего предмета внутрь машины, износ посадочных мест подшипников на валу и в подшипниковых щитах, ослабление посадочных мест подшипниковых щитов в корпусе, обламывание лопастей вентилятора, срез резьбы в отверстиях корпуса и на крепящих болтах подшипниковых щитов.

Указанные дефекты приводят к затиранию железа статора железом ротора, перемещению зубцов активного железа и повреждению обмоток. Необходимо иметь в виду, что воздушный зазор в машинах переменного тока небольшой.

Повреждения в короткозамкнутом роторе. Как правило, обмотки короткозамкнутых роторов в асинхронных двигателях низкого напряжения выполнены из алюминия, залитого в пазы. Случаи обрыва стержней в пазу встречаются редко.

В результате длительной перегрузки или работы двигателя на двух фазах происходит выплавление алюминия из пазов. Работа двигателя с обрывами в короткозамкнутом роторе недопустима, так как двигатель теряет мощность, что приводит к сгоранию обмотки статора.

У электродвигателей переменного тока иностранных фирм короткозамкнутые обмотки выполнены из латунных стержней с замыкающими их накоротко латунными кольцами. У этих двигателей встречаются изломы стержней в лобовых частях и трещины на короткозамыкающих кольцах. Обламывание лопастей вентиляторов возможно в случае попадания в электромашины постороннего предмета или слабой посадки на валу активного железа, когда активное железо перемещается вдоль вала и вентилятор задевает о подшипниковый щит.

ГЛАВА III

ПРОФИЛАКТИЧЕСКИЕ МЕРОПРИЯТИЯ, ПРЕДУПРЕЖДАЮЩИЕ ВЫХОД ИЗ СТРОЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

1. ОРГАНИЗАЦИЯ РЕМОНТОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ НА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ЗАВОДАХ

На каждом металлургическом заводе создаются электроремонтные цехи (ЭРЦ), которые осуществляют ремонт всего электрического оборудования завода. При каждом электроремонтном цехе имеется электротехническая испытательная станция, которая подвергает электрооборудование, прошедшее ремонт, электрическим испытаниям по ГОСТу.

Электроремонтный цех должен иметь следующие участки:

1) планово-предупредительных ремонтов (ППР). В его состав входит электромонтажная бригада. Участок охватывает 50—60% всего состава цеха;

2) обмоточный с группами разборки, сборки, дефектовки — 25%;

3) запасных частей — 10%;

4) механический с токарными, фрезерными и другими станками и лекальной мастерской — 10%;

5) обслуживающий персонал электротехнической испытательной станции (3—5 человек) входит в штат цеха КИП и А. Станция независима от администрации электроремонтного цеха.

Электрооборудование металлургических предприятий работает в тяжелых условиях с наличием большого количества токопроводящей пыли, влаги, паров кислот и масел. Машины главного привода подвергаются частым реверсам, пиковым нагрузкам и большой частоте включений. Это тяжелый режим работы. Поэтому на предприятиях черной металлургии придается большое значение систематическому проведению планово-предупредительных ремонтов электрооборудования. Эта мера профилактики должна обеспечить безаварийную работу электрооборудования. На передовых предприятиях черной металлургии благодаря тщательному проведению ППР аварийный выход из строя электрических машин не превышает 3% в год. Участки планово-предупредительных ремонтов, которые охватывают до 60% численности рабочих электроремонтного цеха, обеспечивают по годовому графику предприятия ремонт электрооборудования по цехам.

Участок подразделяется на бригады, ведущие ремонт в сталеплавильных, доменных, прокатных и других передельных цехах предприятия. В зависимости от количества электрооборудования в цехе бригады могут закрепляться по одной или нескольку за каждым цехом. Ремонтируется не только напольное, но и крановое электрооборудование. Как правило, электрические машины демонтируются с места их установки, транспортируются в электроремонтный цех и там подвергаются профилактическому ремонту: пропитке, сушке,

покраске обмоток, сборке и электрическим испытаниям. На место демонтированных электромашин устанавливаются резервные. Если электрическая панель на мостовом электрокране пришла в полную негодность, то заранее по заявке электрика цеха готовится новая панель, которая и устанавливается вместо вышедшей из строя. Все остальные годные панели подвергаются профилактическому ремонту на месте их установки. При проведении ППР бригада электромонтажных работ ведет все электромонтажные работы по реконструкции и модернизации отдельных участков электроаппаратуры в цехах.

Итак, участок ППР электроремонтного цеха выполняет следующие работы:

а) средние и капитальные ремонты электрооборудования;

б) разрабатывает мероприятия по увеличению межремонтных периодов;

в) разрабатывает наиболее совершенную технологию ремонта электрооборудования.

2. ВИДЫ РЕМОНТА

Система планово-предупредительного ремонта электрических машин предусматривает: межремонтное обслуживание, текущий, средний и капитальные ремонты и модернизацию.

Межремонтное обслуживание

В объем этих работ входит:

а) проверка состояния электрической машины: щеток, щеткодержателей, болтовых контактных соединений и др.;

б) продувка от пыли машин, чистка, обтирка, проверка масляных и охлаждающих систем, наружный осмотр и выявление неисправностей;

в) проверка мегомметром состояния изоляции, проверка исправности заземлений и ограждений вокруг машин, подтяжка креплений машин.

Эти работы выполняются сменным электротехническим персоналом во время ежесменных остановок электрооборудования на профилактические осмотры и принятие смены.

Текущий ремонт

Это наименьший по объему вид планового ремонта, при котором:

а) осуществляется продувка воздухом, протирка электрической машины от пыли и грязи;

б) сменяется или доливается масло в подшипники;

в) зачищаются контактные кольца и коллекторы;

г) регулируются, а вышедшие из строя, заменяются щеткодержатели, заменяются изношенные щетки и детали машины;

д) проверяется равномерность воздушного зазора между статором и ротором, якорем и полюсами, а ненормальность ликвидируется;

е) измеряется сопротивление изоляции обмоток мегомметром;

ж) проверяется исправность заземлений;

з) производится определение оттиском зазора между шейками вала и вкладышами;

и) проверяется крепление подшипниковых стоек и станины электрической машины к фундаментной плите.

Этот ремонт для крупных машин осуществляется на месте их установки без разборки машины или, в случае необходимости, с частичной разборкой силами участка ППР электроремонтного цеха.

Средний ремонт

Средним ремонтом электрических машин называется такой вид планово-предупредительного ремонта, при котором электрическая машина разбирается частично или полностью. При этом виде ремонта выполняются все операции, предусмотренные при текущем ремонте, кроме того дополнительно:

а) заменяются слабые пазовые клинья;

б) устраняются повреждения в обмотке (без замены обмотки);

в) частично перепаиваются «петушки»;

г) проверяются вентиляторы и при необходимости ремонтируются;

д) при необходимости осуществляется проточка шеек вала и перезаливка подшипников;

е) при необходимости протачиваются и шлифуются коллекторы и контактные кольца;

ж) проверяются, при необходимости меняются изоляционные прокладки у подшипниковых стоек;

з) улучшается качество изоляции обмоток электрической машины методом промывки обмоток из пульверизатора растворителем, просушки их, покраски изоляционными лаками и просушки, а затем покрытием изоляционной эмалью и воздушной сушки;

и) проводятся электрические испытания обмоток согласно ГОСТу;

к) осуществляется сборка электрической машины;

л) проводится испытание на холостом ходу и под нагрузкой.

Средний ремонт производится силами ППР в помещении электроремонтного цеха. Крупные машины ремонтируются на месте их установки. Здесь же осуществляется сушка после промывки и покраски обмоток в передвижной сушильной печи.

Капитальный ремонт

Под капитальным ремонтом электрических машин понимается наибольший по объему вид ремонта с перемоткой обмоток. Обмотки должны перематываться независимо от срока эксплуатации при неудовлетворительном их состоянии по заключению комиссии. Этим предупреждается аварийный выход из строя машины вследствие старения изоляции.

Капитальные ремонты являются формой восстановления основных фондов и выполняются в электроремонтном цехе.

Крупные машины проходят капитальные ремонты на месте их установки.

3. ПЕРИОДИЧНОСТЬ И ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ РЕМОНТОВ

Ремонтным циклом называется период времени в часах, месяцах между двумя плановыми капитальными ремонтами. Для нового электрооборудования первым ремонтным циклом считается период от начала эксплуатации до первого капитального ремонта.

Межремонтным периодом называется промежуток времени работы электрооборудования между двумя плановыми ремонтами. Периодичность ремонта определяется положением о планово-предупредительном ремонте электрооборудования на предприятиях Министерства черной металлургии СССР и периодичностью ремонта основного технологического оборудования цеха. Установление периодичности ремонта и порядка чередования различных видов плановых ремонтов (структура ремонтных циклов) является основным принципом ППР электрооборудования. Нормативы продолжительности межремонтных периодов и ремонтных циклов приведены в табл. 3. Нормативы даны исходя из трехсменной работы электрооборудования. При иной сменности работы электрооборудования периодичность ремонта изменяется коэффициентом: для двухсменной $K = 1{,}6$; для односменной $K = 2{,}3$.

Все электрические машины по мощности делятся на три категории: 1-я — электрические машины малой мощности (до 10 *квт*);

Таблица 3

ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ МЕЖРЕМОНТНЫХ ПЕРИОДОВ И РЕМОНТНЫХ ЦИКЛОВ ДЛЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН *

Мощность электрической машины, *квт*	Группа режимов работы	Продолжительность периода, месяцы		
		между текущим и очередным ремонтом	между средними ремонтами	ремонтного цикла (между капитальными ремонтами)
До 10	I	6	72	144
	II	4	36	108
	III	2	12	72
	IV	1	6	36
10—250	I	12	72	216
	II	6	36	108
	III	3	12	72
	IV	2	12	36
Свыше 250	I	12	108	324
	II	6	72	216
	III	3	36	108
	IV	2	12	72

* «Положение о планово-предупредительном ремонте электрооборудования на предприятиях Министерства черной металлургии СССР». Москва, 1970 г.

2-я — электрические машины средней мощности (от 10 до 250 *квт*); 3-я — электрические машины большой мощности (250 *квт* и выше).

В зависимости от режимов работы, степени загрузки, условий окружающей среды, исполнения электрические машины делятся на четыре группы: I — машины, работающие в легком режиме (Л); II — в нормальном режиме (Н); III — в тяжелом режиме (Т); IV — в весьма тяжелом режиме (ВТ).

К I группе относятся мало ответственные электродвигатели, работающие кратковременно (но не более 50% календарного времени в году), находящиеся в резерве и включаемые периодически, установленные в сухих, относительно чистых помещениях с нормальной температурой.

Ко II группе относятся электрические машины, работающие с повторно-кратковременной нагрузкой и с двигательным режимом работы, не менее 50% календарного времени в году в относительно сухих и чистых помещениях с нормальной или несколько повышенной температурой среды.

К III группе относятся ответственные электрические машины с числом включений в час 300—600, постоянно работающие с повторно-кратковременной нагрузкой, в помещениях со значительной запыленностью, влажностью и температурой окружающей среды 45—65° С.

К IV группе относятся ответственные электрические машины, от работы которых зависит непрерывность основного технологического потока, с числом включений 600 и более в час, постоянно работающие с повторно-кратковременной нагрузкой, с большой вибрацией или ударной нагрузкой, в агрессивной среде, в атмосфере, содержащей кислоты, повышенные концентрации газов, токопроводящей пыли и влаги, в помещениях с постоянной температурой 65° С и выше.

ГЛАВА IV

РЕМОНТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

1. ОРГАНИЗАЦИЯ И ОБЪЕМ РЕМОНТА

Разборка электромашин, определение дефектов и объема ремонта

Средние и капитальные ремонты должны производиться в специализированных мастерских ЭРЦ. Электрическая машина поступает в ЭРЦ вместе с ее учетной карточкой или специальным паспортом, в которые занесен паспорт электромашины, отмечены передвижения электромашины в цехе и заполнена хронологическая таблица ремонтов электромашины с кратким содержанием проводимых ремонтов. Электромашины, вышедшие из строя аварийно, поступают на ремонт с аварийным актом. В аварийном акте работники эксплуатации заполняют лицевую сторону, где отмечают последнее место и время

установки электромашины, обстоятельства выхода ее из строя, время и объемы последних текущих и капитальных ремонтов, кем проводился ремонт, проставляют фамилию лица, которому поручается участие в комиссии по окончательному оформлению акта. Лицевая сторона акта подписывается электриком цеха. На приемном складе ЭРЦ техник по заказам открывает ремонтную карточку (Приложение II), которая сопровождает детали электромашины по ремонтным участкам цеха и испытательному стенду. В ремонтную карточку заносят номер заказа, полную техническую характеристику электромашины и причину поступления в ремонт. Согласно утвержденному плану ремонта в ЭРЦ, электромашина вместе с ремонтной карточкой и аварийным актом поступает в разборочное отделение, где производят разборку, тщательно выявляют дефекты электромашины и определяют объем ремонта. При удовлетворительном состоянии обмоток по наружному осмотру и заключению начальнику испытательного стенда детали с обмотками поступают в пылегрязеочистку, где их продувают сжатым воздухом, промывают обмотку от грязи бензином (бензолом или четыреххлористым углеродом), паром с последующей сушкой, пропиткой изоляционными лаками, а затем сушкой. Окончательные испытания обмоток осуществляют на стенде.

Механические детали, требующие восстановительного ремонта, проходят его на механическом и слесарно-сборочном участке. Отбракованные детали (щеткодержатели, щетки, пальцы, подшипники и др.) заменяют новыми. Отремонтированные детали электромашины поступают на сборку, а собранная электромашина — на стенд для прохождения окончательных испытаний на холостом ходу или под нагрузкой. После указанных испытаний и снятия характеристик производят испытание изоляции обмоток повышенным напряжением. Если обмотки имеют явное повреждение или не выдержали испытаний на стенде, то их перематывают на обмоточном участке. Перемотанные обмотки многократно пропитывают с сушкой после каждой пропитки и покрывают покрывными изоляционными эмалями, а затем испытывают на стенде.

Технология ремонта электрических машин следующая:

1. Доразборочные работы: а) подготовительные работы — установка собранной электромашины на стеллаж, снятие крышек с люков и смотровых окон, рассоединение схем на клеммниках, продувка сжатым воздухом и т. п.; б) внешний осмотр корпуса, вала, коллектора, контактных колец, видимой части обмоток, прокручивание вала от руки; в) испытание электромашины на стенде: проверка сопротивления изоляции обмоток меггером, замер омического сопротивления обмоток, пуск электромашины на пониженном напряжении с последующим подъемом напряжения до $1{,}3U_{ном}$ в режиме холостого хода (последнее исключается для электромашин, потерпевших аварию).

2. Разборка электромашины: а) снятие подшипниковых щитов; б) выемка ротора, якоря; в) демонтаж подшипников (в случае их износа); г) снятие поврежденной головки ротора; д) выпрессовка вала (в случае его повреждения или ослабленной посадки активного железа).

3. Чистка, промывка: а) чистка и промывка обмоток; б) сушка обмоток; в) чистка и промывка механических деталей: фланцев, подшипниковых щитов, щеточного механизма.

4. Проверка и испытание: а) испытания на диэлектрическую прочность изоляции обмоток и щеточного аппарата, проверка обмоток на витковое замыкание, замер сопротивления обмоток; б) механические проверки годности подшипников, щеткодержателей, подшипниковых щитов, вала и др.

5. Ремонт и изготовление электрических и механических деталей машины: а) коллекторов и контактных колец; б) щеткодержателей, пальцев, траверс; в) валов, подшипниковых щитов, фланцев; г) перемотка поврежденных обмоток.

6. Сборка по узлам: а) запрессовка вала; б) насадка коллектора, контактных колец; в) установка полюсов.

7. Сушильно-пропиточные работы: а) сушка обмоток; б) многократная пропитка; в) сушка после каждой пропитки; г) поверхностное покрытие изоляционными эмалями.

8. Механический ремонт: а) проточка и шлифовка коллекторов, контактных колец; б) продороживание коллекторов и шлифовка; в) металлизация шеек валов и посадочных мест в подшипниковых щитах в случае их износа с последующей проточкой; г) насадка в горячем виде подшипников на вал.

9. Контрольные испытания и проверка перед сборкой: а) электрические испытания; б) механическая проверка.

10. Сборка электромашины.

11. Выпускные испытания.

Заполнение ремонтных карточек и составление аварийных актов

На слесарно-сборочном участке руководитель производит тщательный осмотр электромашины и заполняет ремонтную карточку, в которой отмечаются обнаруженные внешним осмотром и на испытательном стенде дефекты и неисправности, определяется объем ремонта и подлежащие замене детали, здесь же записываются (после составления аварийного акта) причины выхода из строя электромашины. В ремонтную карточку записывают объем выполненного ремонта, а руководитель испытательного стенда заносит в нее результаты всех испытаний (пооперационных и окончательных). Все эти записи подтверждаются подписями ответственных лиц.

После разборки электромашины и определения дефектов собирается комиссия в составе представителей отдела главного энергетика, эксплуатации, заместителя начальника ЭРЦ, которая после осмотра узлов электромашины, ознакомления с учетной карточкой и лицевой стороной аварийного акта определяет причину аварийного выхода из строя машины, виновников и намечает мероприятия по исключению подобных аварий. Аварийный акт подписывается комиссией и направляется главному энергетику для утверждения и принятия соответствующих организационно-технических мероприятий. Образец акта см. Приложение III.

2. ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ПРИ РЕМОНТАХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Лакоткани

В машинах с нагревом до 105° С в качестве основной изоляции обмоток широко применяются лакоткани, а в последнее время стеклолакоткани, которые представляют собой ткани на основе хлопчатобумажных, шелковых, капроновых или стеклянных волокон, покрытых различными лаками. Хлопчатобумажные и шелковые лакоткани относятся к классу нагревостойкости А. Лакоткани применяются для основной изоляции паза, изоляции лобовых частей, катушек, внутримашинных соединений. Пропитка лакотканей изоляционными лаками при пропитке готовых обмоток повышает их электроизоляционные характеристики, механическую прочность, при этом заполняются поры и капилляры, что препятствует проникновению влаги и воздуха.

Таблица 4

ХАРАКТЕРИСТИКА ЛАКОТКАНЕЙ

Наименование материала	ГОСТ	Марка	Толщина *мм*	Пробивное напряжение *кв*
Лакоткань	2214—70	ЛХС	0,20	6,6
		ЛХЧ	0,20	6,8
Лакошелк	—	ЛШС	0,10	5,5
Стеклолакоткань	10156—70	ЛСБ	0,20	11,6
		ЛСЭ	0,20	11,4
		ЛСМ	0,20	8,9
		ЛСП	0,15	10,3
		ЛСК	0,15	5,0

Лакоткани марок ЛХС, ЛКС, ЛШС, ЛХЧ стойки к воздействию масла и бензина, достаточно эластичны. Характеристики лакотканей приведены в табл. 4.

Полиэтилентерефталатные пленки

Прогрессивными, современными электроизоляционными материалами, все чаще применяющимися при изготовлении и ремонте обмоток электрических машин, являются пленочные материалы, получаемые из высокополимеров. Это полиэтилентерефталатные пленки: лавсан, монтивел, мелинекс, лумиррор, хостафан. Они обладают сравнительно высокой нагревостойкостью, весьма высокими электроизоляционными характеристиками (класс Е), влагостойкостью и очень высокой механической прочностью. Эти пленки, как правило, наклеиваются на электрокартон и применяются для пазовой и межфазной изоляции. Они стойки к растворителям пропиточных лаков, к большинству кислот невысокой концентрации, к плесени и могут быть применены в машинах тропического исполнения. Но полиэтилентерефталатные пленки не обладают стойкостью к короне и их нельзя применять для обмоток высокого напряжения и в трансформаторах. Применение пленок позволяет сократить толщину пазовой изоляции, так как толщина пленки 0,05 *мм*.

Электрокартон (*ГОСТ 2824—60*)

Для защиты основных электроизоляционных материалов от механических воздействий применяется целлюлозный электрокартон марки ЭВ толщиной от 0,2 до нескольких миллиметров. Когда требуется повышенная эластичность, то применяют тряпично-целлюлозные электрокартоны марок ЭВП и ЭВТ. Электрокартоны в непропитанном состоянии обладают низкой электрической прочностью, влагостойкостью и нагревостойкостью. Электрокартон пропитывают в льняном масле, пропитанный электрокартон применяется в машинах в качестве подложек (классы Е и В).

Наша промышленность изготовляет близкий по технологическим свойствам электрокартону материал электронит, состоящий из асбестового волокна (70%) и синтетического каучука (30%). Он менее упруг. Применяется в качестве вспомогательной изоляции в машинах с изоляцией классов *B* и *F*.

Особенно эффективно электронит применяется для конечных шайб статоров, роторов и якорей, так как он хорошо штампуется и дает незначительную усадку в процессе старения.

Материалы классов изоляции B, F и H.

Миканитовые материалы применяются для изоляции машин с нагревостойкостью класса В и выше, а также для машин усиленно-влагостойкого исполнения. Они обеспечивают высокую надежность в эксплуатации. Слюда отличный диэлектрик. В природе минерал слюда встречается в виде кристаллов, легко расщепляющихся на тонкие лепестки толщиной до 0,015 *мм*. По химическому составу различают два типа слюды: мусковит и флогопит. Мусковит весьма прозрачен, бывает окрашен в светлые тона (светло-розовый, зеленоватый или почти совершенно бесцветный). Механически прочен, тверд, упруг, гибок. Флогопит — малопрозрачный, по цвету темно-коричневый или черный, имеет высокую нагревостойкость (более, чем мусковит), менее стоек к истиранию, в коллекторах истирается наравне с медью. Мусковит и флогопит делятся по площади и чистоте на сорта и номера. В связи с сочетанием подложек и клеящих лаков получаются слюдяные материалы, о которых сейчас и будет изложено (ГОСТ 6120—61).

Гибкие миканиты. Если пластинки слюды склеены лаками, длительно сохраняющими эластичность, например глифталево-масляным 1159, масляно-битумным БТ 95, кремнийорганическим ЭФ-5, К-43а, полиэфирным ПЭ-948 и др., то получают гибкий миканит без подложки марки ГФС, с подложками ГФЧО и со стеклотканевыми подложками с одной стороны или с обеих сторон $Г_1$ФГI, $Г_2$ФГII, $Г_1$ФКI, $Г_2$ФКII, $Г_2$ФЭI, $Г_2$ФЭII и др. Гибкий миканит влагостойкий материал. Гибкие неоклеенные миканиты и гибкие стекломиканиты на полиэфирных лаках ПЭ-948 относятся к классу нагревостойкости *F*, на кремнийорганических лаках — к классу *H*.

Гибкие миканиты применяются как междурядная изоляция в пазу и как пазовая изоляция в обмотках.

Миканенты и стекломикаленты (ГОСТ 4268—65). Это особо гибкие в холодном состоянии слюдяные материалы с одно- и двусторонними подложками из микалентной бумаги или стеклянной ткани.

Применяются микаленты для корпусной и витковой изоляции высоковольтных машин. Для корпусной изоляции следует употреблять микаленту на мусковите ЛМЧ, так как она должна обеспечить высокую электрическую прочность изоляции. Ленту на флогопите применяют для витковой изоляции, так как она более эластична. Стекломикаленты применяют для обмоток низкого напряжения классов нагревостойкости *F* и *H*. Марки микалент следующие: на глифталевом лаке ГФ-95—ЛС2ФГ, на лаке ПЭ-948—ЛСФТТ, эти ленты относятся к классу нагревостойкости *F*, на кремнийорганических лаках — ЛС2ФК, С2ЛФК, ЛС1ФК1 к классу нагревостойкости *H*.

Микафолий, стекломикафолий и формовочный миканит (ГОСТ 6122—60, 3686—66). Эти слюдяные материалы применяются для получения твердой изоляции: гильз для стержней и секций, втулок, конусов, манжет и др. Эти материалы изготавливаются на термореактивных смолах: глифталевой 1155, шеллаке или кремнийорганической К-40, размягчающихся при нагреве и переходящих в твердое неплавкое состояние, в процессе дальнейшего нагревания и опрессования. Микафолий выпускается марок: МФГ, МФШ, ММГ, ММШ; стекломикафолий — СММГ, СМФГ, СММК, СМФК, МФП-Т; формовочный миканит — ФФГ, ФФШ, ФФГА, ФМШ, ФМША, ФФК, ФФПА, ФФП; последний приобретает гибкость и необходимую форму при нагреве после термообработки и после опрессования сохраняет приданную ему форму и монолитность. Полученная продукция влагостойка и электрически прочна.

Материалы на шеллачном и глифталевом лаке относятся к классу нагревостойкости В, на кремнийорганическом лаке — к классу *H*, на полиэфирном — к классу *F*. Имеется формовочный миканит двух марок: с индексом А и без него. В миканите, в марку которого входит индекс А, содержится смолы 8—15%. Этот формовочный миканит применяют для изготовления коллекторных манжет, где требуется минимальное размягчение и усадка в процессе эксплуатации при подтяжке коллектора. Миканит, в марку которого не входит индекс А, содержит смолы больше 15—25%. Этот формовочный миканит идет на изготовление втулок, цилиндров, реек и т. п. изделий. Для изготовления коллекторных манжет тяговых электродвигателей с изоляцией класса В следует применять формовочный миканит на шеллаке.

Коллекторный миканит (ГОСТ 2196—60)

Это твердый, хорошо спрессованный слюдяной материал из лепестков мусковита или флогопита с малым содержанием связующих (до 4%). Коллекторный миканит на глифталевой (марки КМГ, КФГ) и шеллачной (марки КМШ, КФШ) смолах применяется для изоляции коллекторных ламелей; класс нагревостойкости до *F*. Коллекторный

миканит на шеллаке иногда оклеивается слюдинитовой бумагой, это обеспечивает его большую стабильность по толщине.

В процессе работы коллектора от воздействия температуры и давления может произойти ослабление усилий затяжки коллектора за счет усадочных деформаций. Для коллекторов тяговых машин рекомендуется миканит на шеллаке.

Прокладочный миканит (ГОСТ 6121—60)

Выпускается марок ПФГ, ПФГА, ПФШ, ПФША, ПФКА. Это твердый спрессованный материал. Применяется в качестве прокладок в электрических машинах. Для прокладочного миканита применяется глифталевая, шеллачная или кремнийорганическая смолы (в зависимости от класса нагревостойкости миканита).

Лакостекломиканит

Этот материал состоит из двух слоев слюды флогопит, одного слоя стеклолакоткани и одного слоя стеклоткани, склеенных между собой масляно-глифталевым, эпоксиднополиэфирным или кремнийорганическим лаками. Применяется для межфазной изоляции. Пробивное напряжение этого материала не менее 8 *кв*. Марки: $ГФГС_1$ — ЛСБ для класса нагревостойкости В, $ГФПС_1$—ЛСП для класса *F*, $ГФКС_1$—ЛСК для класса *H*. В виде заменителей слюды выпускаются слюдиниты и слюдопласты из отходов слюды.

Прочие изоляционные материалы

Ленты изоляционные хлопчатобумажные (ГОСТ 4514—71):

1. Киперная (саржевое плетение): толщина 0,45 *мм*, ширина от 10 до 60 мм.
2. Тафтяная: толщина 0,25 мм, ширина от 10 до 50 мм.
3. Миткалевая: толщина 0,22 мм, ширина от 12 до 35 мм.
4. Батистовая: толщина 0,12 мм, 0,16 мм, ширина от 10 до 20 мм.

Ленты служат верхним защитным слоем изоляции секций, катушек, а также механическим креплением изоляции.

Лента асбестовая (ГОСТ 6102—67): толщина от 0,25 до 0,6 мм, применяется для изолирования полюсных катушек и как витковая изоляция катушек магнитов.

Лента стеклянная (ГОСТ 5937—68): толщина от 0,08 до 0,25 мм, ширина от 8 до 50 мм.

Стеклочулок марки АСЭЧ/б применяется для изоляции соединений выводов.

Бумага асбестовая (ГОСТ 9426—60): толщина 0,2; 0,3; 0,4; 0,5 мм. Применяется как витковая изоляция полюсных катушек из шинной меди и под бандажи в якорях и роторах.

Бумага кабельная (ГОСТ 645—67): толщина от 0,08 до 0,17 мм. Применяется для роторных гильз.

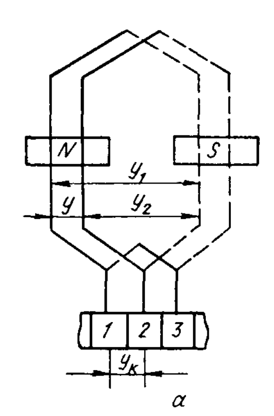
3. ЭЛЕКТРОМАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Типы обмоток якоря и их перемотка

Обмотки якорей машин постоянного тока выполняются двух основных типов: петлевая (параллельная) и волновая (последовательная).

Петлевыми обмотки названы потому, что при обходе по якорю обмотка имеет вид петель, расположенных на поверхности якоря, волновыми потому, что имеет волнообразный путь.

Обмотки в зависимости от мощности электромашины изготавливаются мягкими и жесткими секциями, одновитковыми и многовитковыми.



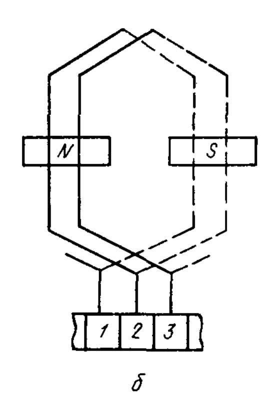


Рис. 16. Схемы петлевой обмотки якоря:
а — правая; *б* — левая

Кроме указанных выше типов, существуют сложнопетлевые, сложноволновые обмотки, которые представляют собой разновидность двух основных типов.

У простой петлевой обмотки шаг по коллектору равен единице $y_к = \pm 1$. Это означает, что начало и конец секции присоединяются к двум рядом лежащим коллекторным пластинам. Знак плюс означает, что при выполнении обмотки надо двигаться вправо (по часовой стрелке), поэтому обмотка называется правой (правообегающей) (рис. 16, *а*). Знак минус показывает, что движение следует делать влево по коллектору (против часовой стрелки), обмотка называется левой (левообегающей) (рис. 16, *б*). Левые петлевые обмотки применяются редко, так как у них провода, подходящие к коллектору, должны перекрещиваться. Это затрудняет укладку обмотки, ухудшает изоляционные свойства обмотки, вызывает увеличение расхода обмоточного провода.

Шаг обмотки по пазам показывает расстояние (выраженное в количестве пазов), которое занимают стороны одной секции:

$$y_{паз} = \frac{z}{2p},$$

где z — число пазов якоря;
$2p$ — число полюсов машины.

Полученное значение округляют до целого числа в меньшую сторону, а при шаге, равном целому числу, уменьшают на единицу. Обмотка получится укороченной, что приведет к укорочению лобовых частей, экономии меди и улучшению коммутационных свойств машины, так как уменьшаются потоки рассеяния и э. д. с. самоиндукции.

Количество пазов между правой и левой стороной первой секции называется первым частичным шагом y_1, между правой стороной пер-

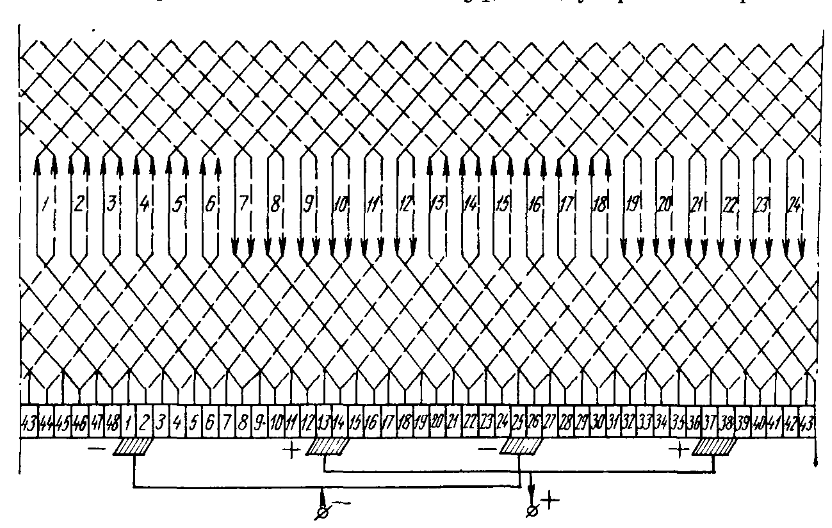


Рис. 17. Схема петлевой обмотки якоря ($z = 24$; $2p = 4$; $k = 48$)

вой секции и левой стороной второй секции — вторым частичным шагом y_2, а между левыми сторонами первой и второй секции — результирующим шагом (рис. 16, *а*, *б*): $y = y_1 - y_2$.

Для простых петлевых обмоток число параллельных ветвей обмотки $2a$ равно числу полюсов машины $2p$ ($2a = 2p$). Каждая параллельная цепь располагается таким образом, что ее проводники лежат под одной парой полюсов. Число коллекторных пластин в петлевой обмотке

$$K = \frac{zS_n}{2},$$

где z — число пазов;

S_n — число сторон секций в пазу или число элементарных секций в пазу, т. е. число выводных концов секций из паза, присоединяемых к коллектору (рис. 17).

У простой волновой обмотки шаг по коллектору

$$y_к = \frac{K \pm 1}{p},$$

где K — число коллекторных пластин;

p — число пар полюсов.

Выводные концы секций присоединяются к двум коллекторным пластинам, отстающим друг от друга на двойное полюсное деление. У четырехполюсной машины они будут расположены на противоположных сторонах коллектора.

Волновая обмотка может быть правой (знак плюс в формуле) и левой (знак минус). При полном обходе коллектора правой обмоткой следует выводной конец уложить справа от первой начальной коллекторной пластины, т. е. выводной конец должен пересечь начальный

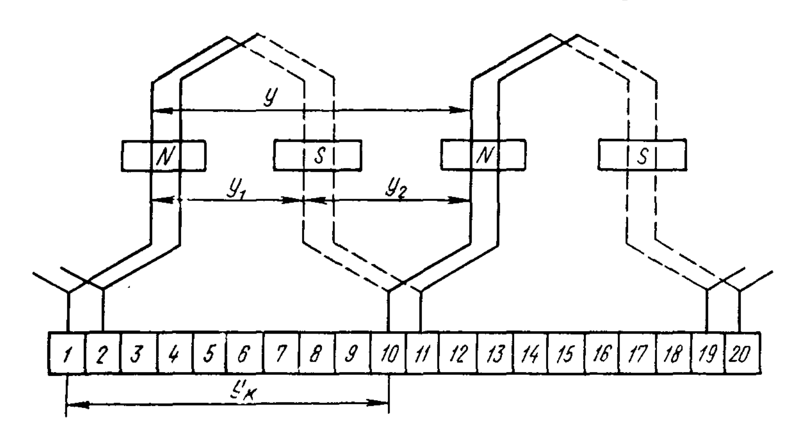


Рис. 18. Схема волновой обмотки якоря

и вся обмотка получится с перекрещенными выводными концами у коллектора. Правую волновую обмотку на практике не применяют по тем же причинам, что и левую петлевую обмотку. При полном обходе коллектора левой обмоткой выводной конец будет уложен слева от первой пластины, таким образом пересечение обмотки исключается (рис. 18). Для этого случая формула примет вид:

$$y_к = \frac{K-1}{p}.$$

Шаг по пазам определяется так же, как и у петлевой обмотки:

$$y_{паз} = \frac{z}{2p}.$$

Первый частичный шаг y_1 — это расстояние по пазам между левой и правой стороной первой секции; второй частичный шаг y_2 — между правой стороной первой секции и левой стороной второй секции; результирующий шаг y — расстояние между левыми сторонами первой и второй секций.

Для простых волновых обмоток число параллельных ветвей $2a$ не зависит от числа полюсов машины и всегда равно 2.

У машин постоянного тока с волновой обмоткой число пальцев со щеткодержателями и щетками устанавливают равным числу полюсов.

Проводники волновой обмотки каждой параллельной ветви обходят все полюса (рис. 19). Встречаются волновые обмотки у четырехполюсных машин с «мертвыми» секциями, эти обмотки несимметричны.

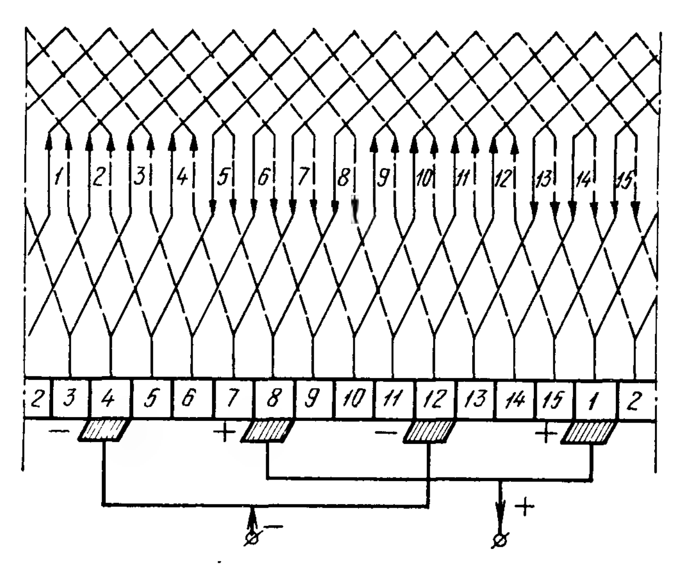


Рис. 19. Схема волновой обмотки якоря ($z = 15$; $2p = 4$; $k = 15$)

Указанные обмотки имеют место в якорях с четным числом пазов, так как при этом шаг по коллектору будет дробным числом. Для практического выполнения обмотки число коллекторных пластин

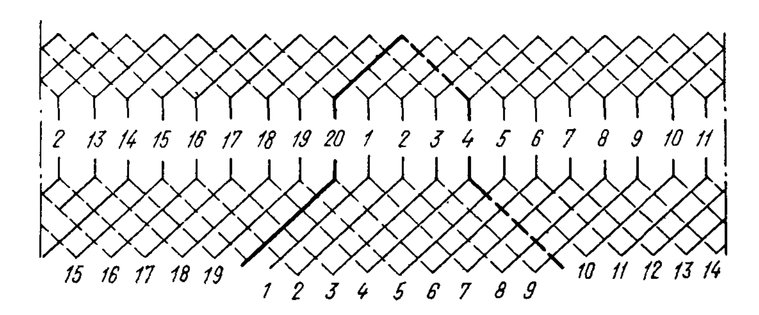


Рис. 20. Схема волновой обмотки с «мертвой» секцией

уменьшают на одну, а одну секцию оставляют свободной, не подсоединяют к коллектору. Это и есть «мертвая секция» (рис. 20).

Для электромашин с большой силой тока применяются сложнопетлевые и сложноволновые обмотки, состоящие соответственно из нескольких простых петлевых или волновых обмоток, которые соединяются параллельно между собой щетками на коллекторе. Число

параллельных ветвей в сложнопетлевой обмотке больше числа полюсов электромашины и равно

$$2a = 2pm,$$

где m — число простых петлевых обмоток.

Опыт показывает, что обмотки хорошо работают при $m = 2$. Сложнопетлевые обмотки часто применяются в низковольтных машинах большой мощности.

Число параллельных ветвей в сложноволновой обмотке равно

$$2a = 2m.$$

Из-за неравенства воздушного зазора под полюсами, неоднородности материала полюсов, наличия раковин в отливках магнитных станин создаются различные магнитные потоки полюсов. В результате этого в отдельных параллельных ветвях петлевых обмоток наводятся различные э. д. с., которые создают уравнительные токи, протекающие через щетки и коллектор. В связи с малым сопротивлением цепи (сопротивление провода, соединяющего одноименные щетки) уравнительный ток достигает большой величины и вызывает искрение на коллекторе. Для устранения уравнительных токов применяют уравнительные соединения, выполненные из проводов, соединяющих секции, расположенные под одноименными полюсами. Уравнительные соединения располагают в лобовой части обмотки с противоположной стороны коллектора или на коллекторе. Количество уравнительных соединений берут равным числу пазов электромашины, а сечение провода уравнителей — до 1/3 сечения провода обмотки.

Шаг уравнительных соединений

$$y_{ур} = \frac{K}{a} \text{ или } y_{ур} = \frac{K}{p}.$$

В простых волновых обмотках уравнительные соединения не ставятся, так как обмотка обходит все полюсы машины и уравнительных токов в обмотке нет, в сложноволновых обмотках они необходимы. Разновидностью уравнительных соединений в петлевой обмотке является сочетание петлевой и волновой обмоток в одном якоре. Такая обмотка носит название «лягушечьей». Здесь волновая обмотка служит одновременно и уравнительной. В этом случае необходимо, чтобы число параллельных ветвей обеих обмоток было одинаковым (рис. 21).

Обмотка якоря, имеющая во многих местах, особенно в нижних слоях, нарушение витковой и пазовой изоляции, подлежит полной перемотке. При полной перемотке работы осуществляются в следующей последовательности:

1) снятие бандажей, удаление пазовых клиньев;
2) распайка петушков коллектора и подъем концов секций;
3) выемка секций из пазов, маркировка секций, разметка первого паза и первой коллекторной пластины (ламели);
4) запись в ремонтную карточку данных обмотки;
5) очистка пазов от старой изоляции;
6) чистка и полудка петушков коллектора;

7) испытание на стенде изоляции коллектора относительно корпуса и между соседними ламелями;

8) изолировка обмоткодержателей, изготовление пазовой и межслойной изоляции;

9) изготовление новых секций или восстановление старых, полудка концов секций;

10) укладка секций в пазы, а концов — в коллекторные ламели;

11) расклиновка обмотки в пазах;

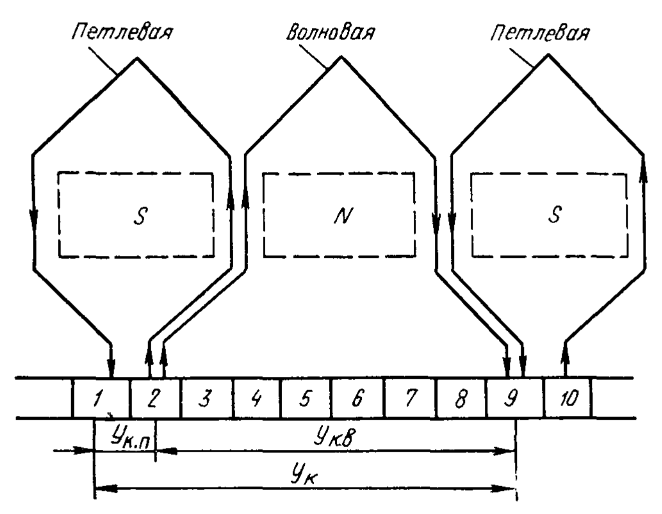


Рис. 21. Схема лягушечьей обмотки

12) испытание обмотки на стенде относительно корпуса и на межвитковое замыкание;

13) пайка петушков коллектора;

14) испытание на стенде на межвитковое замыкание;

15) намотка бандажей и пропайка их;

16) заполнение ремонтной карточки по объему ремонта;

17) окончательные испытания якоря;

18) балансировка якоря;

19) сушка, пропитка обмотки, сушка.

Технология перемотки якоря следующая.

Якорь устанавливают на козлы наклонно, вниз коллектором. Для снятия бандажей разгибают при помощи зубила замки, конец бандажа закрепляют на вертушке и сматывают с якоря, отрывая каждый виток от соседнего. Таким образом сматывают все бандажи. Далее при помощи выколотки выбивают старые пазовые клинья.

Распайку коллектора производят при помощи газовой горелки либо паяльной лампы. Чтобы распайку ускорить, якорь предварительно нагревают в печи до температуры 110° С. Перед распайкой коллектор покрывают листовым асбестом во избежание перегрева изоляции. В момент расплавления олова в петушке конец секции вынимают, а петушок и конец секции протирают от остатков олова сал-

феткой. Делается разметка первого паза и первой коллекторной пластины, если заводом-изготовителем она не сделана. На зубцах, ограничивающих первый паз, делают крестообразные насечки, а на торце первой коллекторной пластины керном ставят две точки. При помощи деревянных или текстолитовых и металлических конических клинов производят подъем из пазов секций. Секции нумеруют бирками. Записывают обмоточные данные в ремонтную карточку (шаг по пазам и коллектору, число витков в секции, размеры и марку провода, конструкцию изоляции и размеры ее, количество витков и диаметр проволоки бандажа и т. д.).

Обмоточные данные проверяют по заводским таблицам. Если таблиц нет, обязательно делают поверочный расчет.

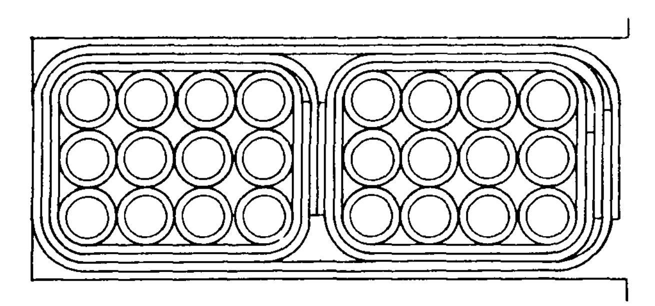


Рис. 22. Разрез паза якоря со всыпной обмоткой

Паз и обмоткодержатели очищают от старой изоляции при помощи металлических щеток. Поверхность коллектора очищают и промывают от грязи. Полудку шлиц (петушков) коллектора делают путем прогрева петушка коллектора газовой горелкой или паяльником в зависимости от исполнения петушка. Петушок нагревают до температуры около 250° С, смачивают флюсом (раствором канифоли в бензине или спирте в пропорции 1 : 1), палочкой припоя ПОС-30 касаются внутренних поверхностей петушка, а излишки олова протирают сухой салфеткой. После полудки внутренняя поверхность петушков должна быть чистой, без темных пятен. Охлажденный коллектор испытывают на стенде на замыкание между соседними ламелями и относительно корпуса.

Обмоткодержатели изолируют формовочным миканитом, электрокартоном, киперной лентой с покраской ее пропиточным лаком и последующей просушкой. Изготовляют и укладывают в пазы пазовую изоляцию, состоящую из гибкого миканита или электрокартона, стеклоткани или лакоткани (рис. 22). Заготовляют межслойную и подбандажную изоляцию из гибкого миканита и электрокартона.

Многовитковые секции из круглого или прямоугольного провода для электромашин небольшой мощности, как правило, не восстанавливают, а изготавливают из нового провода. На шаблоне наматывают лодочки, которые на приспособлении растягивают в секции. Пазовую часть опрессовывают для придания прямоугольной формы; лобовую часть изгибают по соответствующему радиусу.

Пазовую и лобовую части изолируют микалентой, а поверх ее стеклянной и тафтяной лентой. Готовые секции погружают в ванну с пропиточным лаком концами вверх (чтобы концы оставить чистыми для лужения). При лужении концы секции погружают в ванну с расплавленным припоем ПОС-20 и лудят; горячий припой очищают салфеткой.

У средних и больших электромашин с одновитковыми секциями, выполненными прямоугольным проводом, изоляцию восстанавливают следующим образом. Старые секции погружают в ванну с 5%-ным водным раствором кальцинированной соды и кипятят в ней в течение 8—10 ч, после чего извлекают из ванны, промывают, охлаждают, а затем с них легко снимают старую пазовую и витковую изоляцию. Отжиг старых секций себя не оправдывает, так как луженые концы покрываются трудно очищаемым шлаком припоя. Далее витки секций изолируются вручную микалентой или стеклолентой. После изолировки витки собирают в секции и накладывают общую изоляцию, как и у новых секций. При этих работах нужно следить за строгой сохранностью изоляции витков каждой секции. Укладку нижних сторон секций начинают с первого паза, а концов — в первые ламели. Укладки секций производят в порядке их маркировки. По шагу верхние стороны временно укладывают в пазы, чтобы при последующей укладке нижних сторон секций в те же пазы их можно было бы легко приподнять. Между верхними и нижними сторонами с обеих лобовых частей прокладывают изоляцию. Выводные концы у коллектора между собой перевязывают изоляционной лентой. После укладки в пазы секций и опрессовки их забивают пазовые деревянные (из бука) или гетинаксовые клинья. Лобовые части опрессовывают стальными хомутами (толщина хомута 3—5 мм) или временными бандажами. Якорь испытывают на стенде на межвитковое замыкание и относительно корпуса. После испытания производят нагрев якоря в печи до 120° С и пайку коллектора. Якорь устанавливают на козлы с наклоном в сторону коллектора. Пайку производят электрическим паяльником (рис. 23), газовой горелкой или контактным способом (рис. 24).

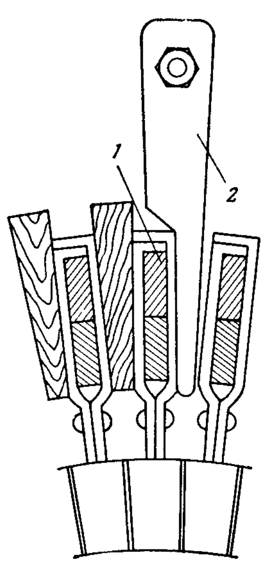


Рис. 23. Пайка петушков якоря электрическим паяльником:
1 — стержень обмотки; 2 — паяльник

Сущность контактного способа заключается в следующем. От сварочного генератора или трансформатора один полюс подают на коллектор через медную щетку, второй — через угольную щетку на коллекторную ламель у петушка, подлежащего пайке. Угольный электрод нагревают докрасна и подогревают место пайки. Нагретое место пайки смачивают раствором канифоли. Палочкой припоя ПОС-61 касаются нагретого петушка. При равномерном заполнении

припоем внутренней части петушка палочку припоя убирают. Припой ПОС-61 применяют для пайки коллекторов потому, что при температуре около 200° С в припое совершается переход из твердого

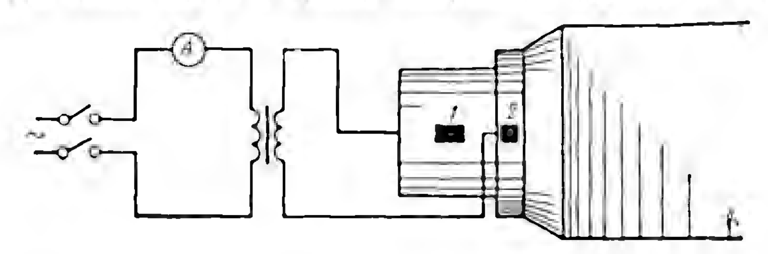


Рис. 24. Нагрев коллектора током. Электроды:
1 — медный; *2* — угольный

состояния в жидкое без размягчения и он быстро затвердевает при незначительном снижении температуры.

На испытательном стенде проверяют качество паек, отсутствие корпусного и межвиткового замыкания. Стальные бандажи наклады-

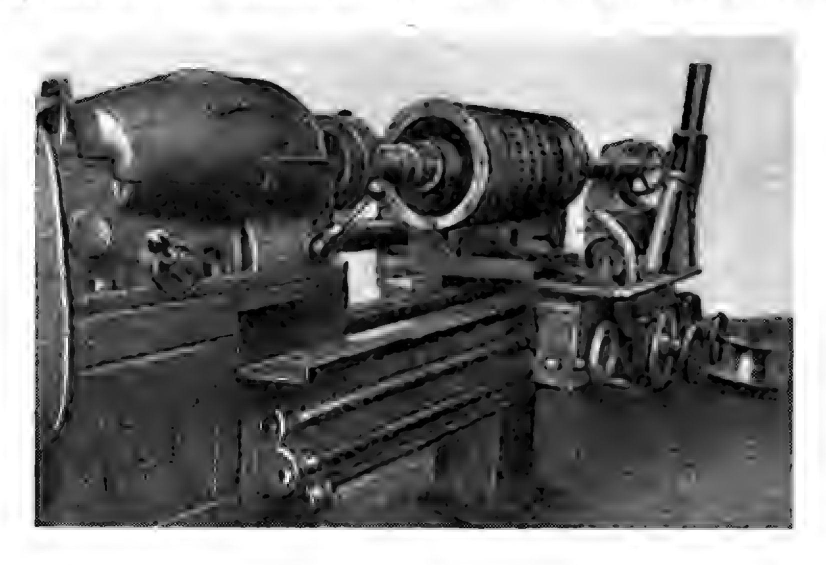


Рис. 25. Бандажировочный станок

вают на бандажировочном (рис. 25) или на токарном станке, после чего их пропаивают припоем ПОС-40. Якорь подвергают окончательным испытаниям на стенде. Далее якорь балансируют на балансировочном станке. Балансировка заключается в том, что якорь уравновешивают грузиками, расположенными в определенных доступных местах. Готовый якорь пропитывают, сушат, покрывают изоляционной эмалью.

По возбуждению электрические машины постоянного тока разделяют на машины с последовательным, параллельным и смешанным возбуждением. У электромашин средней и большой мощности с последовательным возбуждением катушки главных полюсов выполнены прямоугольным проводом с небольшим количеством витков. Витки намотаны голым проводом на ребро или плашмя. Витки, намотанные

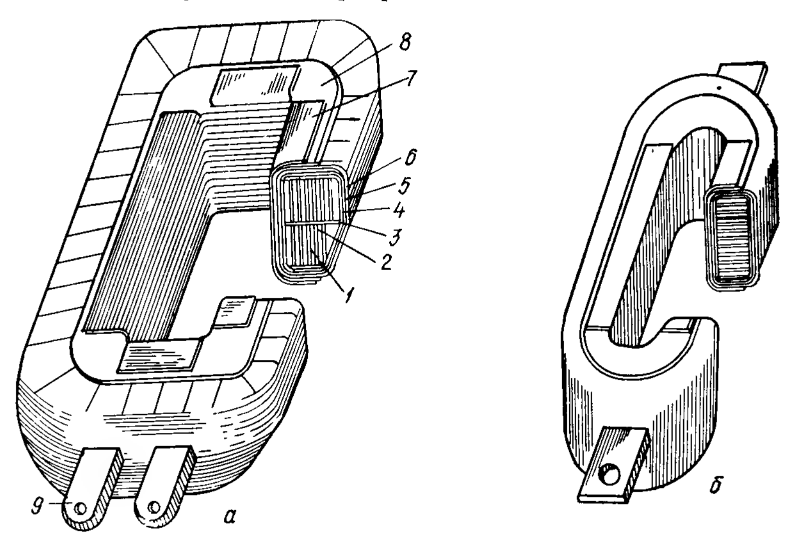


Рис. 26. Катушки главного *а* и дополнительного *б* полюсов:

1 — провод; *2* —витковая изоляция (асбест); *3* —межслойная прокладка (миканит); *4* — асболента; *5* — микалента; *6* — киперная лента; *7* — стальной каркас; *8* — электрокартонная шайба; *9* — контактный вывод

плашмя, изолируют в процессе намотки друг от друга асбестовой бумагой или миканитом, а намотанные на ребро изолируют после намотки асбестовой бумагой или миканитом, нарезанными в виде шайб и вложенными на клеящем лаке между витками. Обмотки возбуждения машин малой мощности наматывают круглым или прямоугольным изолированным проводом марки ПБД, ПСД и ПДА. После намотки катушки подвергают поверхностной изоляции миканитом или стекломиканитом и асбестовой или стеклянной лентой (рис. 26).

В последовательных обмотках возбуждения могут быть витковые замыкания и пробой на корпус. В случае витковых замыканий в электромашинах малой мощности катушки перематывают полностью новым проводом. У электромашин средней и большой мощности поврежденную часть витков вырезают и вместо нее на серебряном припое впаивают вставку соответствующего размера. В местах спайки шина и вставка должны быть предварительно запилены на конус (рис. 27). Практически не бывает случаев полного выхода из строя последовательных катушек возбуждения, требующих изготовления новых кату-

шек. Значительно чаще могут быть случаи разрушения межвитковой изоляции. Тогда катушку, намотанную на ребро, растягивают «гармошкой», медь очищают от старой изоляции, голую шину покрывают глифталевым лаком путем погружения в него, затем накладывают новую изоляцию, катушку устанавливают под пресс и нагревают током пониженного напряжения до 150° С, опрессовывают прессом под давлением до 392,0 *н/см²* (40 кГ/см²). Не снимая катушки, температуру повышают до 200° С и выдерживают на этом уровне в течение 30 мин до полной запечки лака. Охладив катушку до температуры 45° С, давление снимают. Спрессованную катушку изолируют, пропитывают лаками и сушат. Катушки, намотанные плашмя, в случае повреждения витковой изоляции, отжигают в печи, травят в ванне в 10%-ном растворе серной кислоты, промывают в мыльном растворе, разматывают, очищают от остатков старой изоляции и наматывают вновь на шаблоне с прокладыванием при намотке изоляции между витками. Между слоями катушки прокладывают миканитовые, асбестовые или электрокартонные шайбы.

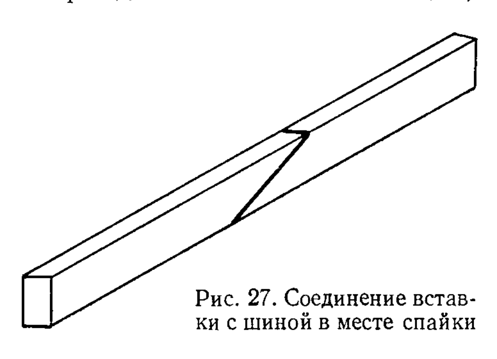


Рис. 27. Соединение вставки с шиной в месте спайки

При пробое катушек на корпус поврежденную катушку снимают с сердечника, сердечник очищают от старой изоляции, нагревают, боковые поверхности смазывают клеящим глифталевым лаком, на сердечник наклеивают новую миканитовую изоляцию, которую опрессовывают хомутами, предварительно смазанными солидолом во избежание прилипания миканита к хомутам. Опрессованный сердечник устанавливают в сушильную печь, где в течение 2—3 ч производят запечку изоляции при температуре 120—150° С. Поверхностная изоляция катушки в месте пробоя восстанавливается.

У электромашин с параллельным возбуждением катушки главных полюсов выполняют изолированным проводом круглого или прямоугольного сечения марки ПБД, ПСД, ПДА. В случаях витковых замыканий производят либо частичную перемотку катушки (при витковых замыканиях у наружной поверхности), либо полную перемотку новым проводом.

Перемотку производят на шаблоне, установленном в станке со счетчиком витков (рис. 28). На шаблон укладывают несколько полос киперной ленты для временного скрепления катушки после ее намотки. Перед намоткой к началу провода припаивают вывод, состоящий из медной пластины сечением, равным 2—3-кратному сечению провода; толщина пластины должна быть не менее 2—3 мм. Пластину закрепляют на боковой щечке шаблона.

При намотке катушки необходимо следить, чтобы витки укладывались плотно (виток к витку). После намотки каждого ряда провод кистью покрывают клеящим лаком, сверху наклеивают прокладку из

асбестовой или телефонной бумаги, равную 2/3 ширины катушки. Прокладку в начале следующего ряда заворачивают после первого витка нового ряда и прижимают последующими витками. После закрытия прокладки проводом встык к ней укладывают следующую такую же прокладку, которую заворачивают после намотки последнего витка этого ряда и прижимают витками следующего ряда и т. д. Заворачивание прокладкой последних витков ряда служит для скрепления крайних витков катушки. Перед намоткой последних десяти витков на ряд кладут по длине стороны катушки 2—4 полоски кипер-

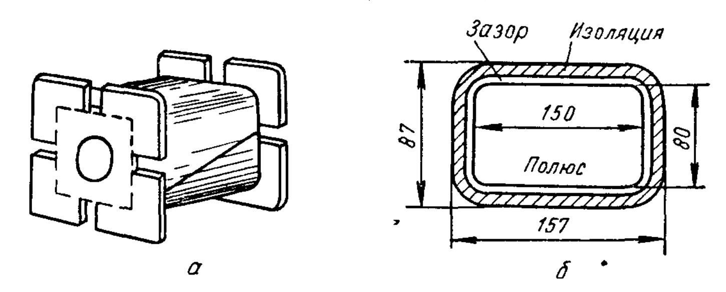


Рис. 28. Шаблон для намотки полюсной катушки:
а — шаблон; *б* — сердечник полюса

ной ленты, сложенной вдвое. Концы ленты должны лежать сверху провода. После намотки остальных витков конец последнего витка протягивают через петли киперной ленты. К концу провода припаивают выводную медную пластину. Концами киперной ленты затягивают последний виток. Намотанную катушку увязывают уложенными перед намоткой полосками киперной ленты. Катушку снимают с шаблона, зажимают между двумя металлическими щечками и помещают в сушильную печь для запечки при температуре 110—120° С в течение 4—5 ч. После запечки катушку подвергают наружной изолировке: с торцов укладывают шайбы из электрокартона, асбеста или миканита, затем по всей длине катушку изолируют микалентой и стеклолентой. Изолированную катушку пропитывают изоляционным лаком и сушат.

Катушки дополнительных полюсов ремонтируют аналогично катушкам последовательного возбуждения.

Ремонт коллектора

Характерными повреждениями коллектора являются: пробой на корпус и замыкание между ламелями. Ремонтируемый якорь подвергают внешнему осмотру коллектора и обмотки, легкому продороживанию коллектора и предремонтному испытанию. При явно выраженном повреждении коллектора ремонт производят без испытаний. При испытании на стенде замеряют сопротивление изоляции коллектора вместе с обмоткой; седлообразным электромагнитом переменного тока проверяют на межвитковое замыкание. В случае замыкания на корпус нужно установить место замыкания — в обмотке или в кол-

лекторе. Если нет внешних признаков замыкания, на коллектор и вал со стороны коллектора медной проволокой подключаются концы от сварочного генератора либо трансформатора. Через рубильник подают ток, не превышающий номинальный (для ограничения силы тока последовательно подключают добавочное сопротивление). При пробое обмотки на корпус приложенная к пазам якоря стальная пластинка притягивается; при пробое коллектора на корпус стальная пластинка, приложенная к пазам, притягиваться не будет. Коллекторные пластины, соединенные с корпусом, нагреются, а обмотка останется холодной.

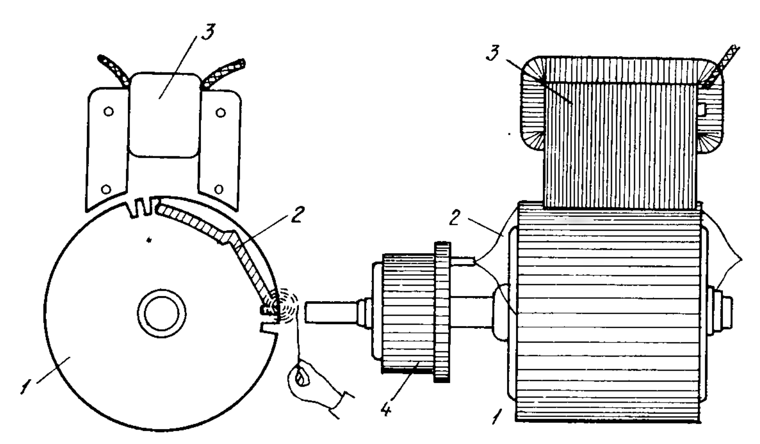


Рис. 29. Электромагнит для проверки якорей на витковое замыкание:
1 — якорь; *2* — секция; *3* — электромагнит; *4* — коллектор

Место виткового замыкания в обмотке без уравнителей или замыкания между ламелями определяют при помощи электромагнита (рис. 29), который устанавливают на активном железе якоря. При подаче напряжения на электромагнит по стальной пластине, приложенной к пазам якоря, можно определить пазы с закороченными витками (пластина притянется). Под действием переменного поля электромагнита в обмотке индуктируется э. д. с., и при наличии короткозамкнутых витков по последним протекает ток, создающий магнитный поток, который и притянет пластину. Для определения места виткового замыкания (между ламелями или в обмотке) поступают следующим образом:

1) снимают передние бандажи с лобовой части;

2) находят и помечают мелом коллекторные пластины, к которым подключены секции, идущие от пазов, притягивающих пластину;

3) у помеченных коллекторных пластин отпаивают верхние концы секции;

4) включают электромагнит и металлической пластинкой проверяют притяжение: если пластинка не притягивается, следовательно, замкнуты коллекторные пластины, если пластинка притянулась — замыкание между витками в секции.

При наличии в обмотке уравнителей и подгоревших коллекторных пластин перед испытанием следует выпаять по одному концу каждого уравнителя (если уравнители расположены под задней лобовой частью), а затем проводить испытания. Если уравнители впаяны в коллектор, нужно из коллектора выпаять концы обмотки, поднять их и проверить на замыкание каждую соседнюю пару коллекторных пластин. Отсутствие замыкания между ламелями в коллекторе говорит о витковом замыкании в обмотке.

После определения повреждения коллектора приступают к его ремонту. На коллектор выкладывают изоляцию из полосок электрокартона толщиной 1 мм (два слоя) и наматывают по краям коллектора два бандажа. Бандажи пропаивают на замках. Отвинчивают гайку или стяжные болты и снимают передний зажимной конус. Осматривают изоляцию конуса и переднюю часть ласточкина хвоста коллектора. Если повреждена изоляция переднего конуса, то старую изоляцию на поврежденном участке срезают на конус, а на это место наклеивают шеллачным или другим клеящим лаком пластинки формовочного миканита толщиной 0,5 мм до полного заполнения необходимой толщины изоляции конуса в месте ее среза. Конус с отремонтированной изоляцией зажимают в специальное приспособление и запекают в сушильной печи. Предварительно приспособление смазывают солидолом во избежание приклеивания к нему миканита. После запечки конус снимают с приспособления и наложенную миканитовую «заплату» зачищают. В случае пробоя изоляции заднего конуса делают пометку и на торце коллектора, и на валу и осторожно снимают зажатый в бандажах коллектор, а затем задний конус ремонтируют, как указывалось выше. Пометки на коллекторе и на валу необходимы для того, чтобы коллектор после его ремонта был посажен на старое место по отношению к обмотке, иначе концы обмотки не достанут до петушков. Если изоляция конусов повреждена значительно и расслоилась, то ее необходимо полностью заменить. Тогда из листов формовочного миканита толщиной не более 0,5 мм делают по выкройке заготовку слоев манжеты (рис. 30), а в местах изгиба вырезают углы и на клеящем лаке наклеивают заготовки на подогретый конус до необходимой толщины. Изолированный конус зажимают в приспособлении и запекают. После запечки наружную поверхность изоляции очищают. В коллекторе изоляцию ламелей зачищают от нагаров и грязи. После ремонта коллектор и конус насаживают на вал, гайкой или винтами конуса прижимают к коллектору. Собранный якорь

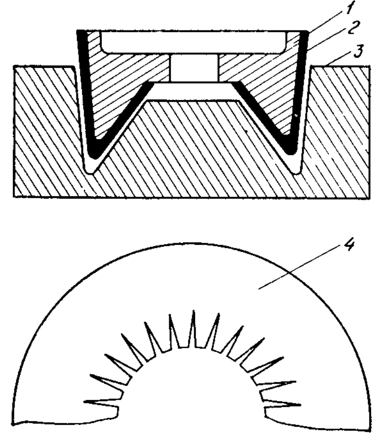


Рис. 30. Прессовка коллекторного манжета:

1 — корпус (Ст. 3); *2* — манжет (формовочный миканит); *3* — прессформа (Ст. 3); *4* — заготовка для манжета (формовочный миканит)

ставят в сушильную печь и подогревают при температуре 120° С в течение около 4 ч. Подогретый коллектор окончательно подтягивают конусами до предела и охлаждают. Бандажи с коллектора снимают.

При замыкании ламелей внутри коллектора поврежденные места зачищают, промывают, покрывают глифталевым лаком с последующей сборкой коллектора и сушкой.

Если поврежден коллектор крупной машины, ремонт которой осуществляется на месте, а резервного коллектора нет, то ремонт его производят так, как указывалось выше, но подогрев коллектора осуществляют следующим образом: на коллектор наматывают несколько слоев асбестовой бумаги, связывая ее асбестовой нитью, поверх наматывают нихромовую спираль и подключают ее к источнику тока; спираль покрывают асбестовой бумагой; после нагрева коллектора до 150° С отбалчивают стягивающие коллектор болты и снимают для ремонта передний конус. После ремонта конус устанавливают на место, подогревают, как указывалось выше, а затем зажимают болтами.

Затяжку болтов следует осуществлять по диагонали.

Намотка стальных бандажей

При вращении якоря развиваются центробежные силы, зависящие от диаметра якоря, массы обмотки и скорости вращения, которые стремятся выбросить обмотку из паза. Эти силы могут достигать значительных величин. Для удержания обмотки в пазах на лобовые и пазовые части накладывают бандажи из луженой стальной, а в некоторых случаях немагнитной проволоки. На электромашиностроительных заводах бандажи рассчитывают для каждого типа машин. Поэтому при перемотке бандажей следует сохранять размеры бандажей, марку и диаметр проволоки. Если нет проволоки соответствующего диаметра, нужно произвести пересчет, чтобы определить число витков бандажа из другой проволоки:

$$w_{\text{нов}} = w_{\text{стар}} \frac{d^2_{\text{стар}}}{d^2_{\text{нов}}},$$

где $w_{\text{нов}}$ — новое число витков;
$w_{\text{стар}}$ — старое число витков;
$d_{\text{стар}}$ — диаметр старой проволоки;
$d_{\text{нов}}$ — диаметр примененной проволоки.

Перед намоткой бандажей на лобовые части накладывают чехлы из плотной материи, которые прочно закрепляют на якоре шнуром.

Под наматываемые бандажи в лобовых частях и в канавки на активном железе прокладывают изоляцию соответственно классу изоляции обмотки: из полос электрокартона, миканита, стекломиканита, асбобумаги. Полоски изоляции закрепляют тафтяной или стеклянной лентой, намотанной из нескольких витков по изоляции. Ширина полосок изоляции должна быть на 5—10 мм (в каждую сторону) шире бандажа. Концы бандажа и сам бандаж следует надежно

закрепить. Для этого служат скрепки, изготовленные из белой жести, толщиной 0,25—0,36 мм и шириной около 10 мм. Скрепки укладывают равномерно по окружности бандажа под ленту. Конец бандажной проволоки закрепляют деревянным клинышком, который вбивают между секциями обмотки, и производят намотку бандажа на лобовую часть со стороны привода. После намотки первого витка бандажа на изоляцию и скрепки левую сторону скрепки (основного замка) огибают вокруг проволоки первого витка бандажа и осажи-

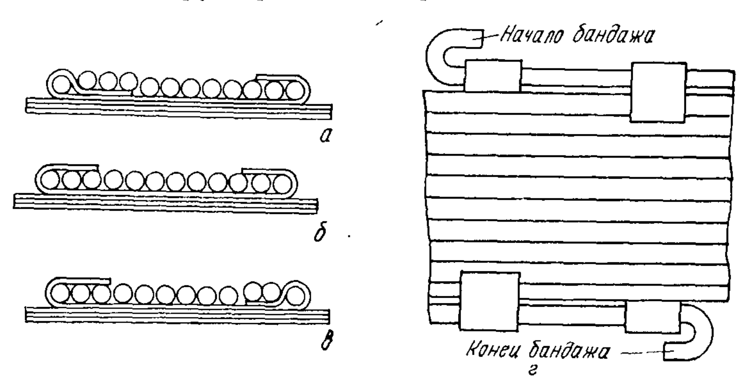


Рис. 31. Проволочный бандаж:

а и *в* — начальный и конечный; *б* — промежуточный; *г* — размещенне бандажа на якоре или фазном роторе

вают на изоляцию, а затем прижимают последующими 4—5 витками бандажа (рис. 31), после намотки которых конец скрепки подтягивают так, чтобы петлей поджать первый виток бандажа. Намотку бандажа продолжают, укладывая виток к витку с определенным натяжением, натяжение бандажной проволоки при намотке выбирают по табл. 5.

Не доходя 4—5 витков до конца первого бандажа, подгибают правую сторону скрепки второго основного замка, делают из нее петлю, осаживают конец скрепки на изоляцию влево и перед намотанной

Таблица 5

ДИАМЕТР И НАТЯЖЕНИЕ БАНДАЖНОЙ ПРОВОЛОКИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ДИАМЕТРА ЯКОРЯ

Днаметр, *мм*		Натяжение	
якоря	проволокн	*н*	*кГ*
100—200	0,8	294,2—392,2	30—40
201—400	1,0	490,3—588,4	50—60
401—600	1,2	637,4—784,5	65—80
601—1000	1,5	980,6—1176,7	100—120
Свыше 1000	2,0	1765,1—1961,3	180—200

уже частью бандажа поднимают его кверху. По скрепке продолжают доматывать оставшиеся витки. Сооруженная петля в скрепке служит для протягивания в ней конца проволоки бандажа после заворачивания и пропайки предыдущего промежуточного замка, оставшийся конец скрепки плоскогубцами подтягивают, поджимая конец проволоки, и обрезают на уровне бандажа. Так закрепляется второй конец бандажа в основной замок. После намотки первого бандажа аналогично продолжают наматывать бандажи в канавках активного железа и на лобовой части со стороны коллектора. Все концы бандажей заворачивают на 180° и обламывают. Концы промежуточных замков загибают на бандаж и пропаивают вместе с бандажами припоем ПОС-40 (см. рис. 31). Пайку необходимо вести электропаяльником быстро, чтобы не разрушить бандажную изоляцию, излишки олова в процессе пайки стирают сухой тряпкой. При пайке следует остерегаться протекания олова на обмотку, проверять отсутствие касания бандажа активного железа, т. е. замыкания на корпус бандажа.

Если бандаж состоит из нескольких слоев, каждый слой наматывают с напряжением на 10% меньше предыдущего и пропаивают отдельно. При намотке бандажей значительной ширины их разделяют асбестовой прокладкой на 2—3 части для уменьшения нагрева.

Бандажи наматывают на специальном бандажировочном станке (см. рис. 25).

Частичная перемотка обмоток

У якорей постоянного тока с одновитковой обмоткой при ее повреждении не всегда требуется полная перемотка. В этих случаях при местных повреждениях обмотки может быть произведен ремонт поврежденных секций, если витковая и пазовая изоляции остальной части обмотки находятся в удовлетворительном состоянии. Например, произошел пробой верхней стороны секции на корпус или витковое замыкание. В этом случае разматывают бандажи, из коллектора выпаивают концы поврежденной стороны, якорь подогревают в печи до 100° С и поврежденную сторону приподнимают из паза. Если в этом пазе нижняя секция цела, то производят ремонт поврежденной. При пробое на корпус всю наружную изоляцию стороны секции снимают, места подгара меди, а также паза зачищают, медь заплавляют припоем ПСр-45, а затем напильником доводят до основного размера; стеклолентой, микалентой восстанавливают витковую изоляцию, витки укладывают и сторону секции изолируют микалентой, а поверх стеклолентой. Пазовую часть опрессовывают, якорь подогревают и сторону укладывают в паз, секцию испытывают по отношению к корпусу. При витковом замыкании в верхней стороне секции и пробое на корпус с перегоранием медных проводников таким же образом поднимают секцию из паза. Отгоревшие концы выбрасывают, подготавливают нужной длины и размеров медь и куски ее впаивают на серебряном припое в обмотку, предварительно зачищая в месте пайки медь обоих концов на конус, чтобы сохранить сечение. При повреждении нескольких проводников пайку каждого

из них смещают по длине проводников. Аналогично восстанавливают витковую и пазовую изоляцию, секцию укладывают в паз и испытывают. После испытания концы секций укладывают в шлицы коллектора, якорь испытывают на витковое замыкание и запаивают концы секции в коллектор. Затем накладывают бандажи, якорь подвергают окончательным испытаниям. Пропитку обмотки и поверхностное покрытие изоляционной эмалью производят в обычном порядке. Когда пробой на корпус или витковое замыкание произошли у нижней стороны, то распайку коллектора производят по шагу. Якорь подогревают, секции по шагу приподнимают, а поврежденную секцию извлекают из пазов. Производят ремонт секции, как описывалось выше. Якорь подогревают, отремонтированную секцию, а также остальные приподнятые вставляют в пазы, а их концы — в коллектор. Остальные работы производят в указанной выше последовательности. Следует учесть, что после подъема сторон секций по шагу поврежденную при подъеме изоляцию на секциях нужно восстановить.

Ремонт токосъемного устройства

Токосъемное устройство состоит из траверсы, пальцев, щеткодержателей и щеток. На чугунной траверсе крепятся изолированные от траверсы металлические пальцы, на которых закреплены щеткодержатели. В щеткодержателях находятся щетки.

Повреждения в токосъемном устройстве могут быть следующие: пробой на корпус пальца, подгар щеткодержателя, поломка нажимных пружин, излом траверсы. При пробое пальца на корпус палец снимают с траверсы, старую изоляцию удаляют, из бакелизированной бумаги и формовочного миканита или микафолия наматывают с подогревом новую изоляцию, зажимают в оправку и изоляцию запекают. Изоляцию пальца испытывают, и палец устанавливают в траверсу. У некоторых типов двигателей (ПН) изоляция конца пальца выполнена из пластмассы. При нарушении этой изоляции ее можно восстановить методом прессовки из пресспорошка либо изготовить аналогичную из текстолита.

При подгаре щеткодержателей подгар либо очищают, либо при значительных подгарах щеткодержатель заменяют новым. Заменяют щеткодержатель также при изломе пружины.

Треснувшую траверсу снимают, освобождают от пальцев, место трещины зачищают, траверсу устанавливают на свое место — прилив подшипникового щита, зажимают и проваривают медным электродом.

Пересчет машин постоянного тока

А. Расчеты при перемотке обмотки на другое напряжение. В случае необходимости перевода машин постоянного тока на другое напряжение можно либо переключить обмотки, либо перемотать их. У генераторов постоянного тока снизить напряжение можно за счет соответствующего уменьшения числа оборотов приводного электродвигателя, при этом сила тока в обмотке

возбуждения меняться не должна. Но с уменьшением числа оборотов сила тока возбуждения при неизменности схемы соединения катушек электромагнитов уменьшится и магнитное поле ослабнет. Поэтому, уменьшив напряжение в m раз, необходимо в m раз уменьшить число оборотов и создать m параллельных групп в обмотке возбуждения, т. е. если нужно в два раза уменьшить напряжение, то в два раза уменьшают обороты машины и удваивают число параллельных ветвей.

Создается одна параллельная ветвь по нечетным полюсам, а вторая по четным. При таких переключениях сила тока в обмотке якоря не изменится, но мощность машины уменьшится вдвое. Также изменяют напряжение и у двигателей постоянного тока. Если нужно сохранить мощность прежней, то в этом случае необходима перемотка обмоток. Повышается напряжение у машины за счет увеличения последовательно соединенных витков в пазу соответственно увеличению напряжения, т. е.

$$K_у = \frac{U_{нов}}{U_{стар}},$$

где $K_у$ — коэффициент увеличения напряжения;
$U_{нов}$ — новое повышенное напряжение, в;
$U_{стар}$ — старое напряжение, в.

Новое количество проводников в пазу якоря

$$N_{нов} = K_у N_{ст}.$$

Новое сечение провода

$$S_{нов} = \frac{S_{ст}}{K_у} \text{ мм}^2.$$

Проверка на заполнение паза проводниками осуществляется так же, как и у машин переменного тока.

Так же перематывают и обмотку возбуждения:

$$w_{возб.\,нов} = \frac{U_{нов}}{U_{ст}} w_{возб.\,ст}; \quad S_{нов} = \frac{U_{ст}}{U_{нов}} S_{ст} \text{ мм}^2,$$

где $w_{возб.\,нов}$, $w_{возб.\,ст}$ — количество витков обмотки возбуждения новое и старое;
$S_{нов}$, $S_{ст}$ — новое и старое сечение провода;
$U_{нов}$, $U_{ст}$ — новое и старое напряжения.

Обмотки последовательного возбуждения главных и дополнительных полюсов не меняются, если якорь не перематывается, если произведена перемотка якоря, то перематываются катушки и этих полюсов.

Пересчет витков и сечения проводится по формулам:

$$w_{нов} = \frac{I_{ст}}{I_{нов}} w_{ст}; \quad S_{нов} = \frac{I_{нов}}{I_{ст}} S_{ст} \text{ мм}^2,$$

где $I_{нов}$, $I_{ст}$ — сила тока якоря новая и старая,

При неизменности мощности машины с изменением напряжения естественно меняется и сила тока.

Пример. Двигатель параллельного возбуждения типа ПН-45, мощностью 6,6 квт и напряжением 110в при скорости вращения 2200 об/мин и силе тока 60 а перемотать на напряжение 220 в. Дополнительные данные: якорь— проводников в пазу 9×2, диаметр провода 2,1 мм, сечение провода 3,4 мм², обмотка возбуждения — витков на полюс 1150, диаметр провода 0,72 мм, сечение провода 0,407 мм², обмотка дополнительных полюсов —витков на полюс 22,5, диаметр провода 6,40×3,05 мм, сечение провода 19,0 мм².

1. Коэффициент увеличения напряжения

$$K_у = \frac{U_{нов}}{U_{ст}} = \frac{220}{110} = 2.$$

2. Новое количество проводников в пазу якоря

$$N_{нов.\,я} = K_у N_{ст.\,я} = 2 \cdot 9 \cdot 2 = 18 \cdot 2.$$

3. Новое сечение проводника обмотки якоря

$$S_{нов.я} = \frac{S_{ст.\,я}}{K_у} = \frac{3,4}{2} = 1,7 \text{ мм}^2,$$

По ГОСТу принимается $S = 1,651$ мм², что соответствует диаметру провода $d = 1,45$ мм.

4. Количество витков обмотки возбуждения

$$w_{нов.\,о.\,в} = \frac{U_{нов}}{U_{ст}} w_{ст.\,о.\,в} = \frac{220}{110} \cdot 1150 = 2300.$$

5. Новое сечение провода обмотки возбуждения

$$S_{нов.\,о.\,в} = \frac{U_{ст}}{U_{нов}} S_{ст.\,о.\,в} = \frac{110}{220} \cdot 0,407 = 0,203 \text{ мм}^2.$$

По ГОСТу сечение принимается 0,204, что соответствует диаметру провода 0,51 мм.

6. Количество витков обмотки дополнительного полюса

$$w_{нов.\,д.\,п} = \frac{I_{ст}}{I_{нов}} w_{ст.\,д.\,п} = \frac{60}{30} \cdot 22,5 = 45,$$

$$I_{нов} = \frac{I_{ст}}{K_у} = \frac{60}{2} = 30.$$

7. Новое сечение провода обмотки дополнительных полюсов

$$S_{нов.\,д.\,п} = \frac{I_{нов}}{I_{ст}} = S_{ст.\,д.\,п} = \frac{30}{60} \cdot 19 = 9,5 \text{ мм}^2.$$

По ГОСТу принимается сечение 9,52 мм², что соответствует проводу 2,44 × × 4,1 марки ПСД.

Б. Расчеты при изменении числа оборотов машины. Скорость вращения двигателя постоянного тока определяется формулой

$$n = \frac{(U - I_я r_я)\,60a}{\Phi N p} \text{ об/мин},$$

где U — напряжение электрической машины, в;
$I_я$ — номинальная величина силы тока, а;
$r_я$ — сопротивление обмотки якоря;
a — число параллельных ветвей;
Φ — магнитный поток;
N — число проводников в пазу;
p — число пар полюсов.

Из формулы следует, что для увеличения скорости машины проще уменьшить число проводников в пазу

$$N_{нов} = N_{ст} \frac{n_{ст}}{n_{нов}}.$$

Сечение проводников определяется формулой

$$S_{нов} = S_{стар} \frac{n_{нов}}{n_{ст}}.$$

Если изменяются числа оборотов в машине, а напряжение остается неизменным, то параллельная обмотка возбуждения не меняется. Однако новое количество витков и сечение провода последовательной обмотки у обмоток дополнительных полюсов должны рассчитываться по формулам пересчета на другое напряжение.

Пример. Двигатель параллельного возбуждения типа П-17,5 мощностью 1 квт, номинальным напряжением 220 в и со скоростью вращения 1000 об/мин перемотать для вращения со скоростью 1500 об/мин.

Дополнительные данные: количество проводников в пазу 32 × 2, диаметр провода 1,16 мм, сечение провода 1,057 мм².

1. Новое количество проводов в пазу

$$N_{нов} = N_{ст} \frac{n_{ст}}{n_{нов}} = 32 \cdot 2 \frac{1000}{1500} = 21 \cdot 2.$$

2. Новое сечение провода обмотки

$$S_{нов} = S_{ст} \frac{n_{нов}}{n_{ст}} = 1,057 \frac{1500}{1000} = 0,742 \text{ мм}^2.$$

Сечение по ГОСТу соответствует 0,785 мм² и диаметру провода 1,0 мм.

В. Расчет при изменении возбуждения машины с параллельного на последовательное или наоборот. Перевод возбуждения с параллельного на последовательное при небольших мощностях двигателей производят с сохранением мощности и магнитодвижущей силы. Остаются неизменными обмотки якоря и добавочных полюсов. Пересчитывают только обмотку возбуждения, сохраняя неизменной магнитодвижущую силу:

$$I'_в w'_в = I''_в w''_в,$$

где $I'_в$ — сила тока обмотки возбуждения двигателя с параллельным возбуждением;
$I''_в$ — сила тока обмотки возбуждения двигателя с последовательным возбуждением;

$w'_в$ — число витков обмотки возбуждения двигателя с параллельным возбуждением;

$w''_в$ — число витков обмотки возбуждения двигателя с последовательным возбуждением.

В двигателях с последовательным возбуждением

$$I''_в = I_я,$$

где $I_я$ — сила тока якоря двигателя.

Значит, число витков обмотки возбуждения при указанных выше переделках определится

$$w''_в = w'_в \frac{I'_в}{I''_в} \text{ и } w'_в = w''_в \frac{I''_в}{I'_в}.$$

Пример. Двигатель параллельного возбуждения типа П-68, мощность 10 квт, напряжение 220 в, сила тока якоря 52,2 а, скорость вращения 2250 об/мин, сопротивление обмотки возбуждения 188 ом, количество витков обмотки параллельного возбуждения 1900 на полюс.

1. Без изменения остаются обмотки якоря и дополнительных полюсов.

2. Количество витков перематываемой обмотки последовательного возбуждения определится по формуле:

$$w''_в = w'_в \frac{I'_в}{I''_в} = 1900 \frac{1,1}{52,2} = 40 \text{ витков},$$

$$I'_в = \frac{U}{R_в} = \frac{220}{188} = 1,1 \ a.$$

$$I_в = I_я = 52,2 \ a.$$

Сечение провода аналогично сечению провода дополнительных полюсов: 2,8 × × 5,1 = 14,28 мм².

4. ЭЛЕКТРОМАШИНЫ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Машины переменного тока бывают следующих видов: синхронные, асинхронные и коллекторные. Обмотки электромашин выполняют однофазными, двухфазными и трехфазными. Синхронный двигатель состоит из статора, питающегося переменным током, и ротора, имеющего явно или неявно выраженные полюса, обмотки которого питаются постоянным током. У синхронных машин число оборотов вращающегося магнитного поля статора синхронно (равно) числу оборотов ротора. Асинхронная машина состоит из статора, питающегося переменным током, и ротора — фазного или короткозамкнутого. Число оборотов ротора несинхронно (не равно) числу оборотов вращающегося магнитного поля статора. Отставание ротора называется скольжением и определяется в процентах:

$$S\% = \frac{n_{стат} - n_{рот}}{n_{стат}} 100\%,$$

где S — скольжение, %;

$n_{стат}$ — число оборотов вращающегося магнитного поля, об/мин.

$n_{рот}$ — число оборотов ротора, об/мин.

В нормальных асинхронных двигателях величина скольжения колеблется от 1 до 3%, а в специальных асинхронных двигателях достигает 10% и более. Статоры асинхронной и синхронной машины одинаковы.

Коллекторные машины имеют статор, аналогичный указанным выше, и якорь, питающийся от переменного тока. В металлургической промышленности коллекторные машины не нашли применения. Число оборотов у синхронных и асинхронных двигателей зависит от частоты сети и числа пар полюсов:

$$n = \frac{60}{p} f \text{ об/мин},$$

где n — число оборотов в минуту;
f — частота, гц;
p — число пар полюсов электромашины;
60 — перевод секунд в минуту.

При промышленной частоте, принятой в СССР (50 периодов в секунду), формула примет вид

$$n = \frac{60 \cdot 50}{p} = \frac{3000}{p}.$$

Однофазные и двухфазные обмотки как редко встречающиеся в данной работе не рассматриваются.

Типы обмоток статора и их перемотка

Исполнение обмотки статора машины переменного тока определяется полюсным делением, которое подсчитывается по формуле

$$\tau = \frac{z}{2p},$$

где τ — полюсное деление;
z — число пазов;
$2p$ — число полюсов.

Полюсное деление означает число пазов, приходящихся на один полюс, и равно 180 электрическим градусам. Катушки обмотки вкладываются в пазы с определенным шагом, который может быть равен полюсному делению (диаметральный шаг) или несколько менее его (укороченный шаг). Укороченный шаг применяют в целях экономии меди за счет уменьшения длины лобовых частей и для улучшения электрических характеристик машины. Укорочение обычно делают до 1/5 диаметрального шага и производят его, как правило, у двухслойных обмоток. Нормальный шаг обмотки определяют по формуле

$$y = \frac{z}{2p}.$$

На каждую фазу трехфазной обмотки приходится одна треть числа пазов и числа витков статора. Катушки, принадлежащие одной

фазе, соединяются между собой и имеют начало и конец фазы. Для выполнения обмотки необходимо определить количество пазов, приходящихся на полюс и фазу:

$$q = \frac{z}{m2p},$$

где z — число пазов;
m — число фаз;
$2p$ — число полюсов.

Величина q определяет число секций в катушке.

Пример. $z = 36$, $2p = 6$, $m = 3$, найти нормальный шаг обмотки y и количество пазов q, приходящихся на полюс и фазу:

$$y = \frac{z}{2p} = \frac{36}{6} = 6; \quad q = \frac{z}{m2p} = \frac{36}{3 \cdot 6} = 2.$$

Таким образом, шаг по пазам равен 6, катушка состоит из двух секций, соединенных последовательно. Принимая укорочение шага, равное 0,8, получим: $y = 6 \cdot 0{,}8 \approx 5$ (рис. 32).

Обмотки статоров трехфазных асинхронных и синхронных машин выполняют в зависимости от способа заполнения паза — однослойными и двухслойными, от способа укладки в пазу — с мягкими всыпными секциями из круглого провода и жесткими (шаблонными).

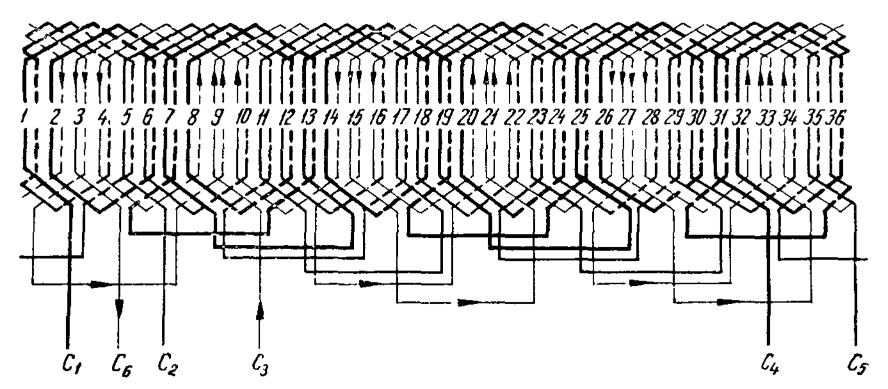


Рис. 32. Схема двухслойной обмотки статора ($z = 36$; $2p = 6$; $m = 3$)

Выбор типа обмотки зависит от исполнения паза (рис. 33). Паз может быть открытым, тогда секции целиком укладывают через верх паза (это в основном высоковольтные машины), полуоткрытым — обмотку укладывают жесткими полусекциями в щель паза, полузакрытым — секции наматывают впротяжку или укладываются витками, или группой витков, через щель паза (обмотка может быть однослойной и двухслойной), закрытым — обмотку выполняют только впротяжку или стержнями.

По конструктивному выполнению обмотки разделяют на следующие типы:

1. Концентрическая, катушечная, однослойная обмотка. Катушки расположены одна внутри другой (рис. 34). Паз закрытый

или полузакрытый, изолирован прессованной гильзой из миканита. Обмотка однослойная впротяжку. Перед протягиванием провода через паз, в два паза по шагу намотки, закладывают металлические шпильки диаметром, равным наружному диаметру наматываемого изолированного провода. Число шпилек равно количеству проводов

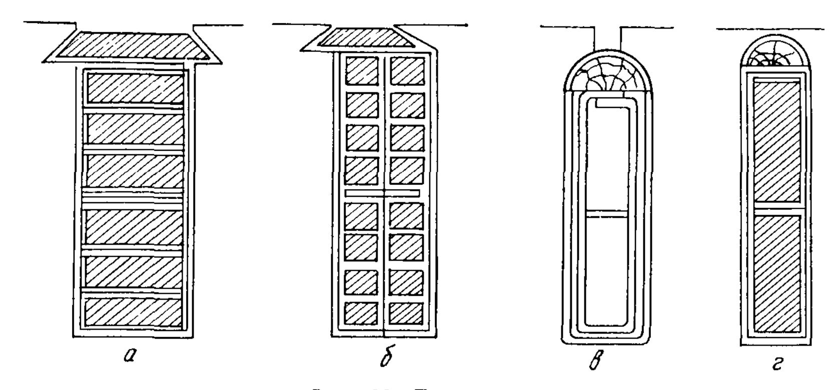


Рис. 33. Типы пазов:

а — открытый; *б* — полуоткрытый; *в* — полузакрытый; *г* — закрытый

секции в пазу. Намотку производят следующим образом: провод протирают парафином или тальком для лучшего скольжения по гильзе (в пазе), из гильзы вынимают нижнюю шпильку, а вместо нее протягивают провод; также из следующего по шагу паза вынимают шпильку и вместо нее протягивают этот же провод и так постепенно

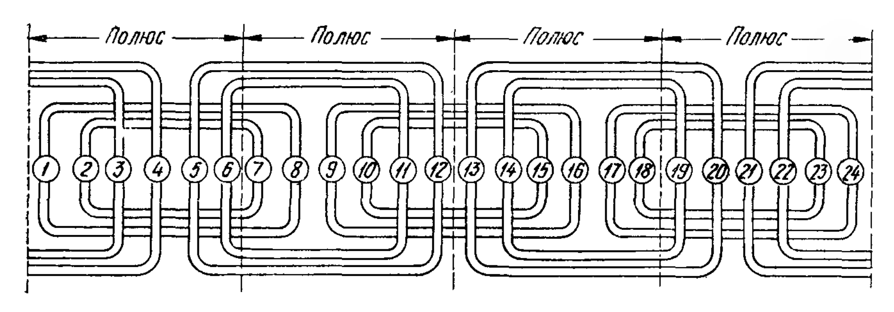
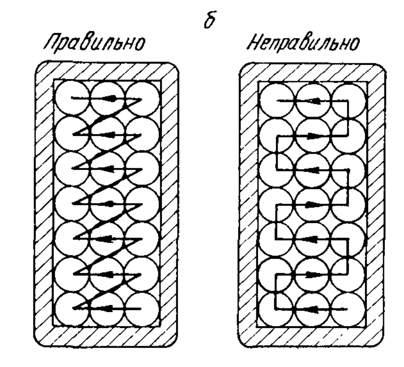


Рис. 34. Схема катушечной обмотки ротора

до полного заполнения обоих по шагу пазов (рис. 35). В лобовых частях провод соответственно укладывают и увязывают киперной лентой. Если рассмотреть предыдущий пример, то при намотке катушечной обмотки первая секция уложится во 2-й и 7-й пазы, вторая секция охватит первую и уложится в 1-й и 8-й (рис. 36). Намотка впротяжку кропотливая работа, поэтому с целью ускорения при достаточной ширине щели паза в паз укладывают гильзу из электрокартона толщиной 0,2 мм, лакоткань 0,15 мм и электрокартонную направляющую толщиной 0,2 мм. Направляющая должна выступать

из щели, так как через нее в паз по витку проталкивают сторону секции; таким же образом укладывают вторую сторону секции и остальные секции катушки. В этом случае катушку наматывают на шаблоне из нужного числа секций, равных q. Размеры секций катушки различны в зависимости от шага обмотки.



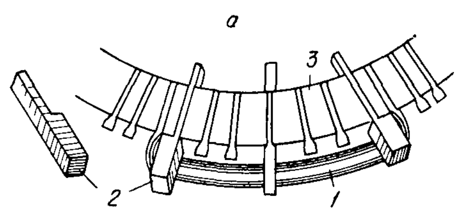


Рис. 35. Намотка статора впротяжку:

а — схема намотки; *б* — порядок заполнения паза; *1* — катушка; *2* — опорные клинья *3* — статор

Концентрическую обмотку, выполненную впротяжку либо через щель, соединяют в фазы путем пайки конца одной катушки с началом другой.

2. Цепная однослойная обмотка имеет секции с одинаковым шагом, которые наматываются на шаблоне и вкладываются в полуза-

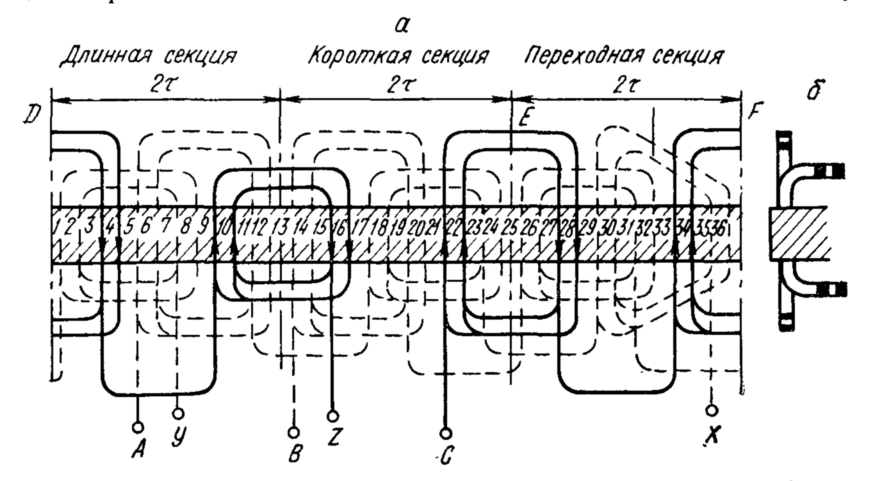


Рис. 36. Схема катушечной обмотки с переходной катушкой ($z = 36$; $2p = 6$; $y_1 = 5$; $y_2 = 7$; $g = 2$):

а — схема намотки; *б* — лобовая часть обмотки

крытый паз через щель. Число секций равно половине числа пазов (рис. 37). Изоляция паза — гильза из электрокартона, лакоткани и электрокартонной направляющей или других материалов по классу изоляции электромашины.

3. Двухслойная обмотка с одинаковым шагом. Секции наматывают на шаблоне одинакового размера. Паз изолируют материалами соответственно классу изоляции машины (рис. 38). Одну сторону

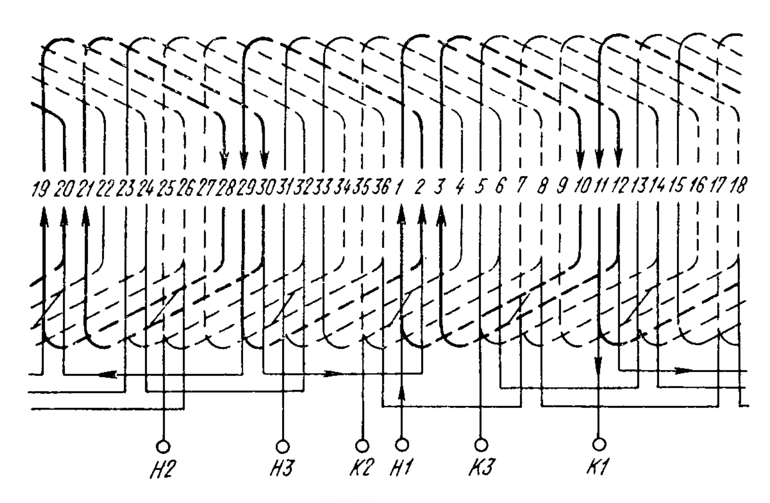


Рис. 37. Схема однослойной цепной обмотки статора ($z = 36$; $2p - 4$; $y = 9$)

секции первого шага укладывают на дно паза, вторую ее сторону не укладывают в паз, а оставляют на поверхности активного железа либо временно укладывают сверху паза по шагу. После заполнения таким образом первого шага производят укладку последовательно остальных катушек статора. Секции второго шага также одной стороной укладывают на дно паза, а второй кладут в паз верхним слоем на секции первого шага. Таким образом происходит укладка всех катушек статора.

При укладке секций последнего шага предварительно приподнимают верхние стороны секции первого шага (жесткие секции, рис. 39). Перед этим их подогревают током (во избежа-

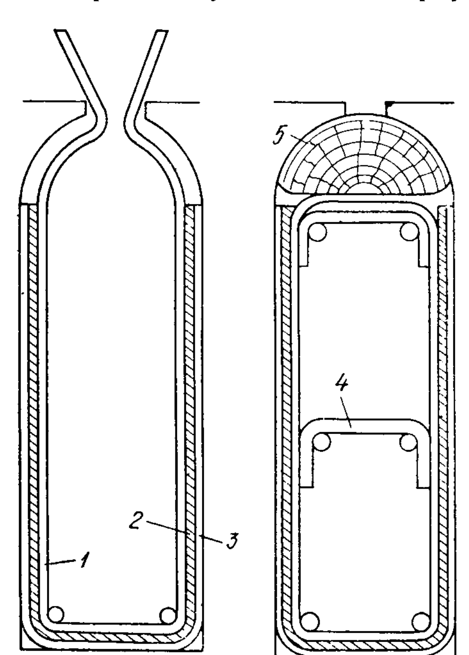


Рис. 38. Изоляция полузакрытого паза:

1, 3 — электрокартон (0,2 мм); *2* — лакоткань (0,2 мм); *4* — прокладка из электрокартона (0,3 мм); *5* — деревянный клин

ние излома изоляции), и секции последнего шага укладывают на дно пазов, а затем пазы заполняют верхними сторонами секции первого шага.

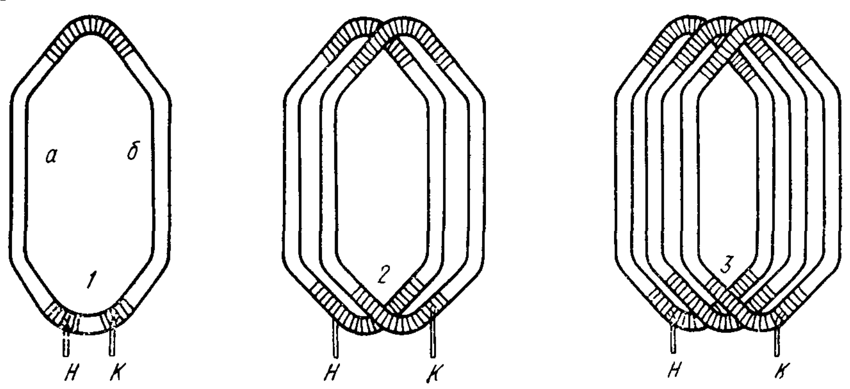


Рис. 39. Жесткие секции (*н* — начало секции; *к* — конец):

1 — катушка из одной секции (единица); *2* — катушка из двух секций (двойка); *3* — катушка из трех секций (тройка); *а* — верхняя сторона катушки; *б* — нижняя сторона катушки

При такой укладке обмотка делается непрерывной и симметричной (рис. 40). Как правило, двухслойную обмотку делают с укороченным шагом. При укороченном шаге в некоторых пазах лежат секции разных фаз.

Встречаются обмотки статоров волновые, намотанные медными стержнями, двухслойные (эти обмотки будут рассмотрены ниже). Число пазов на полюс в обмотках этого типа может быть дробным, но на каждую фазу приходится одинаковое целое число пазов.

Для выполнения симметричной обмотки необходимо чередовать катушки в фазе, содержащие различное число секций. Распределение катушек определяют путем арифметического подсчета.

Пример. $z = 30$, $2p = 4$, $m = 3$ (рис. 41).

Определить шаг y и число пазов на полюс и фазу q.

$$y = \frac{z}{2p} = \frac{30}{4} = 7{,}5;$$

$$q = \frac{z}{m2p} = \frac{30}{3 \cdot 4} = 2{,}5.$$

Это значит, что катушки состоят из двух и трех секций. Если обмотка однослой-

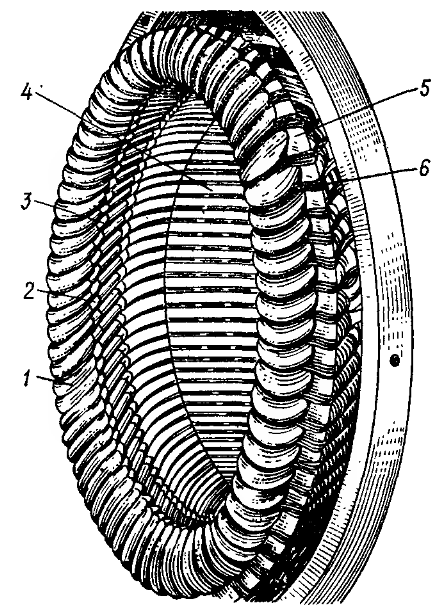


Рис. 40. Статор с двухслойной обмоткой жесткими секциями:

1 — лобовая часть обмотки; *2*, *6* — увязка секций шнуром к бандажному кольцу; *3* — вентиляционные промежутки между секциями; *4* — гетинаксовые клинья в пазах; *5* — бандажное кольцо

ная, то число катушек в фазе определится числом пар полюсов. Если обмотка двухслойная, то число катушек в фазе определится числом полюсов машины, т. е. катушек четыре — две катушки по две секции (двойки) и две катушки по три секции (тройки).

Распределение для двухслойной обмотки двойка, тройка, двойка, тройка. Следовательно, для симметричного распределения катушек необходимо определить число катушек в фазе и число пазов, приходящихся на каждую фазу. В примере число кату-

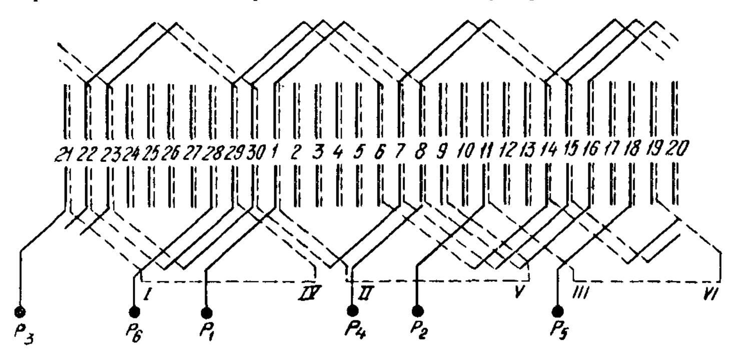


Рис. 41. Схема двухслойной волновой обмотки

шек в фазе — четыре (так как $2p = 4$), число пазов на каждую фазу — десять (30 : : 3 = 10). Таким образом, четыре катушки должны заполнять десять пазов. Это возможно при двух двойках и двух тройках, так как $2 \times 2 = 4$ и $2 \times 3 = 6$, что дает в сумме 10, т. е. будут заполнены десять пазов. Применение дробного q позволяет использовать активное железо статора при различных числах оборотов машины. Так, в указанном примере обмотки электромашины можно намотать на число пар полюсов 1, 2, 4. При двух полюсах катушки будут состоять из пяти секций (пятерки), при восьми полюсах — из шести катушек по одной секции и двух по две секции в фазе.

Полная перемотка обмотки фазного ротора

Фазные роторы имеют обмотки двух типов: концентрическая, катушечная, однослойная обмотка (намотка осуществляется через щель паза при полузакрытых пазах или впротяжку при закрытых пазах) и волновая, состоящая из медных стержней прямоугольного сечения, вставляемых в закрытый или полузакрытый паз с торца ротора. У волновых стержневых обмоток в каждый паз вставляется по одному стержню в слой; таким образом, в пазу находятся два стержня, у крупных электродвигателей встречаются роторы с двумя двухслойными обмотками, т. е. четырьмя стержнями в пазу и четырьмя слоями. В этом случае обмотки ротора соединены между собой в звезду или треугольник по соответствующей схеме. Бывают обмотки с четырьмя стержнями в пазу, которые надо рассматривать как двухстержневые с искусственно удвоенным числом пазов. Малое число стержней в пазу объясняется необходимостью иметь пониженное напряжение при разомкнутых кольцах ротора. Волновая обмотка выполняется с нормальным числом пазов, равным полюсному делению. Кроме стержней, у волновой обмотки имеются перемычки или соединительные дуги, которыми соединяются прямопоступательные волны обмотки с обратно поступательными волнами при обходе обмотки. В каждой фазе обмотки такая перемычка одна. Перемычки располагаются в нижних слоях пазов.

Перемычки могут быть изготовлены у машин средней мощности из одного куска медной шины, причем лобовая часть выгибается плашмя, так как на ней будут лежать, заполняя шаг, остальные нижние стержни обмотки (рис. 42). Перемычки вкладывают с передней части ротора (от колец) в пазы первыми. У электромашин большой мощности, с большими поперечными размерами стержней, перемычки припаивают к стержням посредством хомутиков, после укладки стержней в пазы. В первом случае лобовые части перемычек лежат на обмоткодержателе, во втором — перемычки располагаются в лобовой части далее обмоткодержателя. Могут быть исполнены обмотки, в которых перемычки отсутствуют. Здесь переход при обходе обмотки с одного направления на другое осуществляется изогнутым стержнем, лежащим в пазу в верхнем и ниж-

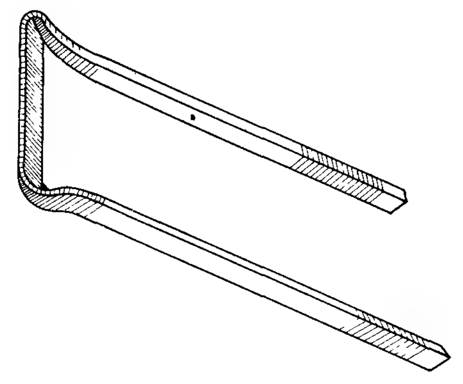


Рис. 42. Роторная перемычка

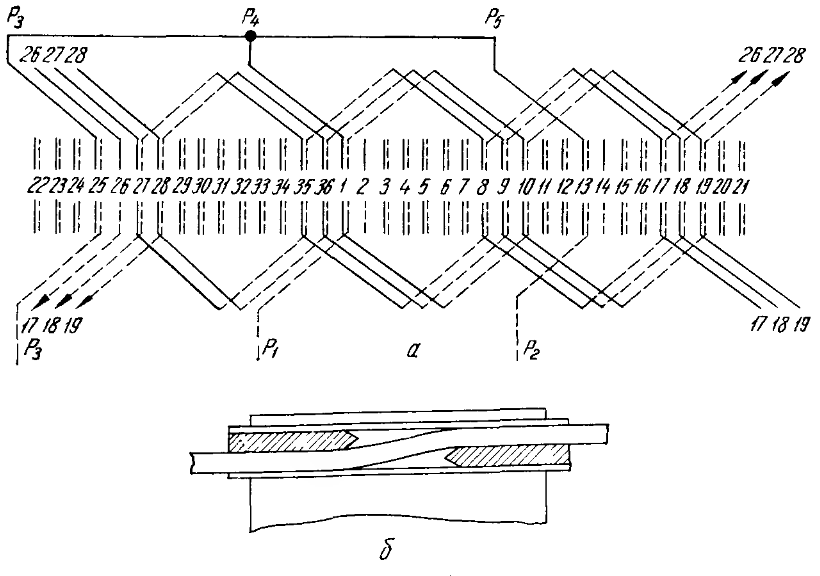


Рис. 43. Волновая обмотка ротора:
а — схема; *б* — переходной стержень

нем слое одновременно. Пустые места в пазу заполняют кусками аналогичной стержню меди, чтобы избежать вибрации стержня в пазу и небаланса ротора (рис. 43). Наличие переходного стержня дает возможность начала фаз выполнять из нижнего слоя обмотки,

что очень удобно. Шаг по пазам у волновой обмотки подсчитывают по формуле

$$y = \frac{z}{2p},$$

но так как $z = 2pmq$, то формулу можно видоизменить:

$$y = \frac{2pmq}{2p} = mq,$$

где z — число пазов;
$2p$ — число полюсов;
q — число пазов на полюс и фазу;
m — число фаз.

В трехфазных обмотках $m = 3$ и шаг для этих обмоток будет

$$y = 3q.$$

При обходе обмотки от первого паза по шагу обход завершится тем же стержнем первого паза, обмотка окажется замкнутой накоротко — сама на себя; чтобы избежать этого, при подходе к пазу, от которого начался обход, нужно укоротить или удлинить шаг на один паз. В этом случае обмотки называются с укороченным или удлиненным переходом. В электромашиностроении применяют и те и другие. Считают, что при укороченном переходе имеется экономия меди.

Число пазов на полюс и фазу определяет число обходов ротора в одном направлении. Для полного заполнения паза следует сделать обходы в обоих направлениях. Например, для волновой обмотки ротора с $z = 24$ и $2p = 4$ определить нормальный шаг обмотки y и количество пазов q на полюс и фазу:

$$y = \frac{z}{2p} = \frac{24}{4} = 6, \quad q = \frac{z}{m2p} = \frac{24}{3 \cdot 4} = 2.$$

Принимаем верхний стержень первого паза за начало первой фазы (рис. 44) (сплошные линии на рисунке считаем за верхний слой, пунктир — за нижний слой). Тогда будем иметь следующий путь обхода: верхний стержень первого паза соединится с нижним стержнем 7-го паза ($y = 6$), нижний стержень 7-го паза — с верхним стержнем 13-го паза, верхний стержень 13-го паза — с нижним стержнем 19-го, нижний стержень 19-го паза по шагу должен соединиться с верхним стержнем 1-го. Тогда обмотка окажется замкнутой сама на себя. Чтобы этого не случилось, делают, как указывалось выше, либо укорочение шага в переходе, либо удлинение на один паз.

В приведенном примере сделан укороченный переход и нижний стержень 19-го паза соединился с верхним стержнем 24-го паза, верхний стержень 24-го паза — с нижним 6-го, нижний стержень 6-го — с верхним 12-го, верхний 12-го — с нижним 18-го, нижний 18-го паза соединяется перемычкой I—IV с нижним 24-го паза. Начинается обратный обход ротора. Нижний стержень

24-го паза соединяется с верхним 18-го, верхний 18-го — с нижним 12-го, нижний 12-го — с верхним 6-го, верхний 6-го (с укорочением на один паз) — с нижним 1-го, нижний 1-го — с верхним 19-го, верхний 19-го — с нижним 13-го, нижний 13-го — с верхним 7-го, верхний 7-го — конец 1-й фазы. Аналогично производятся обходы остальных фаз. Обмотки должны быть симметричными и электрически и геометрически, последнее необходимо, чтобы избежать небаланса ротора. По окружности должны быть распределены равномерно начала и концы фаз и перемычки. Согласно ГОСТ 183—66,

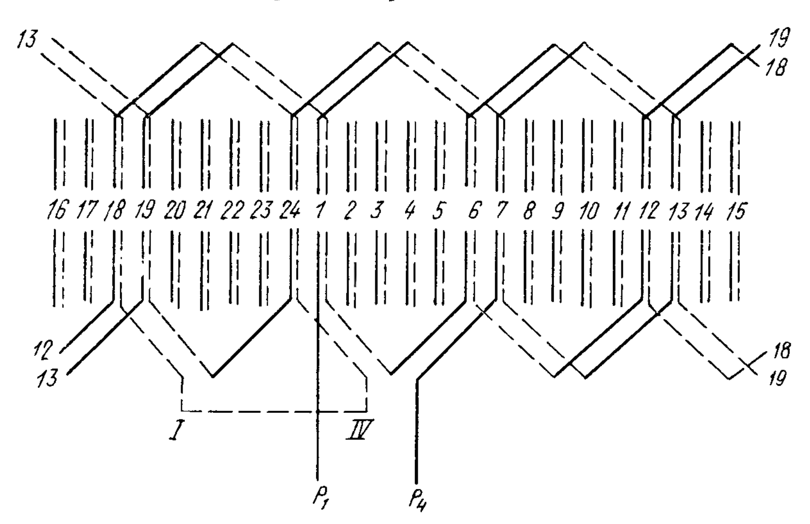


Рис. 44. Схема волновой обмотки ротора

введено обозначение Р1, Р2, Р3 — начало первой, второй и третьей фазы и Р4, Р5, Р6 соответственно концы фаз. Перемычки обозначают I—IV — первой, II—V — второй и III—VI — третьей фазы. Обмотки ротора соединяют в звезду или треугольник. Кольцо звезды располагают с передней или задней лобовой части обмотки. К стержням выводов на хомутиках припаивают выводы, идущие к контактным кольцам или звезде. При соединении в треугольник Т-образный вывод из шины припаивают через петушки к началу и концу обмотки фаз, а средний идет на подсоединение к контактному кольцу.

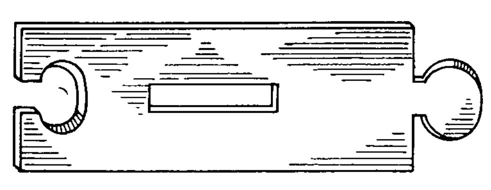
Когда при одном и том же штампе листов ротора желают выпускать двигатели с разными скоростями вращения, число пазов на полюс и фазу (q) выразится дробным числом. В этих случаях шаги обмотки со стороны контактных колец с передней стороны и с противоположной — задней стороны ротора будут различны. Шаг обмотки выбирают: с задней стороны $y_1 = 3q \pm 0{,}5$, с передней стороны $y_2 = 3q \pm 0{,}5$. Знаки плюс и минус показывают, что при выборе в первой формуле плюса во второй следует брать минус и наоборот. Например, при наличии 60 пазов и синхронной скорости вращения 1500 об/мин $q = \frac{60}{3 \cdot 4} = 5$. Если необходимо использо-

вать этот ротор на 750 об/мин, число пазов на полюс и фазу будет $q = \frac{60}{3 \cdot 8} = 2{,}5$, т. е. в катушках будет по 2 и по 3 секции для соблюдения симметрии обмотки. Чаще всего дробное число пазов на полюс и фазу выражают целым числом с половиной. В этой обмотке шаги будут:

$$y_1 = 3 \cdot 2{,}5 - 0{,}5 = 7,$$

$$y_2 = 3 \cdot 2{,}5 + 0{,}5 = 8.$$

Перемотку катушечной обмотки ротора выполняют так же, как и обмотку статора, о чем было сказано выше. Применяют пазовые клинья — буковые и гетинаксовые, прокладки под клин — электрокартон или гибкий миканит толщиной 0,3 мм. Нужно заметить, что намотку впротяжку хорошо выполнять проводами марки ПБД и ПДА; не рекомендуется применять провод ПСД, так как при протяжке происходит механическое повреждение стеклянной изоляции, что приводит к витковым замыканиям. При ремонтах роторов, намотанных впротяжку, замена нескольких поврежденных секций экономичнее полной перемотки всей обмотки.



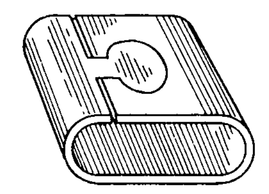


Рис. 45. Соединительный хомутик роторной обмотки

Перемотку роторов с волновой стержневой обмоткой производят таким образом. Вначале распаивают соединения стержней в хомутиках (рис. 45), концы стержней очищают тряпкой от излишков припоя. Замеряют расстояния лобовых частей от активного железа и от бандажей. Измеряют ширину бандажа, считают замки, замеряют диаметр бандажной проволоки. Разматывают бандажи, разгибают лобовую часть верхних стержней с задней стороны и вытаскивают из пазов верхние стержни (рис. 46); то же делают с нижними стержнями. После освобождения активного железа от обмотки пазы очищают от остатков изоляции, проверяют переходные соединения от обмотки к контактным кольцам, снимают изоляцию с обмоткодержателей, пазы продувают сжатым воздухом. Контактные кольца испытывают повышенным напряжением между фазами и на корпус.

Определяют и замеряют изоляцию стержней обмоткодержателей, данные заносят в ремонтную карточку. Стержни отжигают в печи при температуре 400—500° С и погружают в воду, очищают от остатков изоляции, рихтуют, лудят концы. Отгибают одну сторону лобовой части. Стержни изолируют: пазовую часть микафолием или формовочным миканитом толщиной 0,15 мм с обкаткой, запечкой и опрес-

совкой и одну изогнутую лобовую часть — микалентой в полнахлеста и поверх стеклолентой. Изолированная часть стержня должна плотно входить в паз. Обмоткодержатели изолируют гибким миканитом, электрокартоном или асбобумагой, электронитом; увязывают изоляцию киперной или стеклянной лентой. Изолированный обмоткодержатель должен быть на одном уровне с дном паза. Со стороны

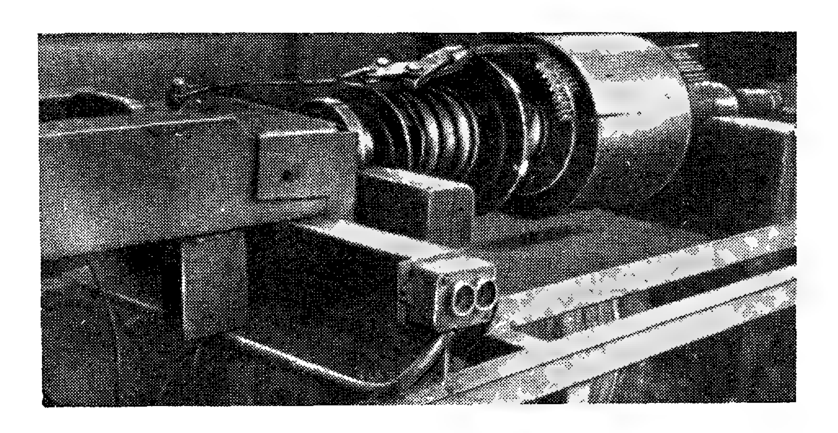


Рис. 46. Станок для вытягивания роторных стержней из активного железа

контактных колец первыми в пазы вставляют три перемычки, затем нижние стержни. Вторую прямую лобовую часть стержней специальными ключами (рис. 47) соответственно отгибают и изолируют микалентой и стеклолентой. Между стержнями разных фаз прокладывают изоляционную прокладку по всей длине лобовой части. Нижние стержни осаживают и лобовую часть обжимают железными

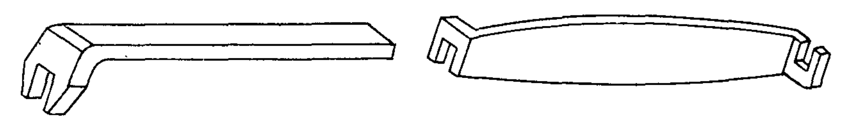


Рис. 47. Ключи для изготовления роторных стержней

хомутами с подкладыванием под хомут картона (чтобы не повредить изоляцию стержней). На нижний слой в лобовых частях укладывают изоляцию из электрокартона или миканита толщиной 0,5—1 мм.

Далее в пазы вставляют верхние стержни, у них также отгибают вторую прямую лобовую часть, изолируют и между фазами ставят изоляционные прокладки. Концы стержней под петушки рихтуют по шагу. Лобовые части верхних стержней обжимают в железных хомутах. На концы стержней насаживают хомутики, и шины в них расклинивают медными лужеными клиньями. Таким же образом насаживают хомутики звезды и выводов на кольца.

Обмотку подвергают испытаниям на стенде на диэлектрическую прочность изоляции относительно корпуса и между фазами. Затем хомутики пропаивают припоем ПОС-40 либо твердым меднофосфористым, если плотность тока велика. Следует отметить, что при ремонтах пайка припоем ПОС-40 удобнее, так как температура мест паек относительно невелика и не вызывает разрушений меди. Хомутики изолируют друг от друга кусками изоляционной трубки. Далее следует намотка бандажей на бандажировочном станке с подкладкой под них соответствующей изоляции. Намотку и пайку бандажей производят по описанной выше схеме.

Готовый ротор подвергают испытанию на диэлектрическую прочность изоляции относительно корпуса и между фазами, а также испытаниям током, с целью проверки надежности паек. Ротор просушивают и пропитывают изоляционными лаками.

Наша промышленность, как упоминалось ранее, выпускает стержневые роторы без перемычек. Здесь поворот обмотки в каждой фазе осуществляется при помощи переходного стержня из нижнего в верхний слой, который лежит в одном пазу фазы. У этих обмоток выводы на кольца осуществляются из нижнего слоя, соединение концов фаз в звезду — на стороне ротора от привода. Выполнение таких обмоток проще и удобнее при ремонтах. Кроме стержневых обмоток роторов, у электромашин небольшой мощности применяют катушечные обмотки, с укладкой круглого провода через щель паза.

Частичная перемотка обмоток статора и фазного ротора

При витковых замыканиях и пробоях в пазу статора у концентрических катушечных обмоток из пазов извлекают обмотки всех катушек, лежащих сверху поврежденной, а затем и поврежденную. Пазы очищают от старой изоляции, оставшиеся обмотки и свободные пазы продувают сжатым воздухом. Неповрежденные обмотки испытывают на стенде. После испытания изготовляют изоляцию для пазов и провод для намотки обмоток. Изоляцию вставляют в пазы, наматывают секции и катушки через верх паза или впротяжку и новую обмотку подвергают испытанию на стенде по нормам для новой обмотки. После испытаний производят соединение схемы и ее изолировку, испытание статора на стенде, просушку обмотки в сушильной печи и пропитку всей обмотки, а позже сушку и поверхностную лакировку обмотки.

Статоры с цепной и однослойной обмотками ремонтируются описанным выше способом. Двухслойные обмотки подвергают частичному ремонту в том случае, если витковое замыкание или пробой на корпус произошли в секциях, лежащих в зоне «замка» или вблизи его. «Замком» называют часть двухслойной обмотки малых статоров, которая укладывается только в верхние части паза обеими сторонами при закрытии шага, когда первые секции укладывались сразу на дно паза (правые и левые стороны). В остальных случаях частичные перемотки двухслойных катушек невозможны и при поврежде-

ниях обмотки обязательна ее полная перемотка. Роторы с катушечными однослойными обмотками подвергают частичной перемотке, как описывалось для статоров.

Стержневые роторные обмотки при пробоях и выгорании между фаз, пробое на корпус, подвергают частичным перемоткам. В этом случае разматывают оба бандажа, распаивают хомутики с обеих сторон в зоне повреждения, со стороны привода выравнивают стержни в лобовой части и вытягивают их в сторону контактных колец. Если повреждены нижние стержни, то после освобождения верхних частей пазов выравнивают с одной стороны лобовые части поврежденных стержней и стержни вытаскивают. Иногда бывает необходимо обрезать в лобовых частях стержни, если имеется оплав их, или тянуть их в обратную сторону.

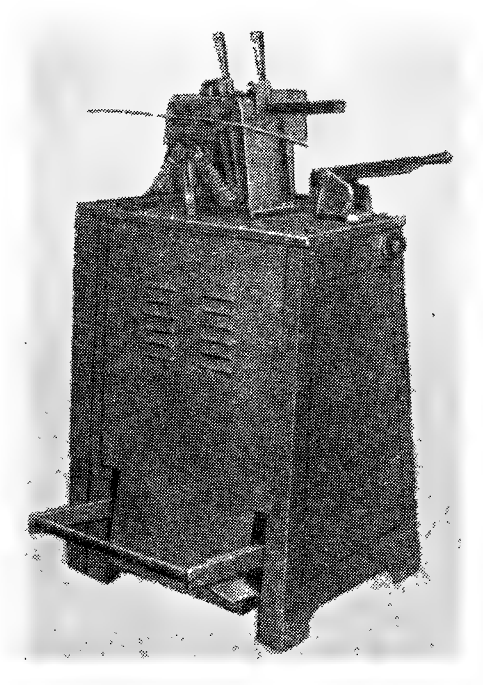


Рис. 48. Станок для сварки роторных стержней встык

После удаления поврежденных стержней очищают паз от старой изоляции; в пазах, где нижние стержни остались, изоляцию паза осторожно подрезают до уровня нижнего стержня. Освобожденные от изоляции пазы и всю оставшуюся обмотку продувают сжатым воздухом. Обмотку подвергают испытаниям на стенде по нормам. Если обмотка выдержала испытание, то пустые пазы вновь изолируют такой же изоляцией, какая была у ротора до ремонта (фабричная изоляция), а пазы, свободные в верхнем слое, изолируют под верхний стержень. Вынутые стержни отжигают, выравнивают, концы их лудят, соответственно изолируют, вкладывают в пазы и изгибают, как описывалось ранее при намотке. Изоляцию новых стержней ротора подвергают испытаниям. Надевают хомутики на концы стержней и собранную обмотку ротора вновь подвергают испытанию. Затем хомутики паяют, кладут изоляцию под бандажи и на бандажировочном станке наматывают бандажи; бандажи пропаивают. Обмотку ротора подвергают сушке и пропитке.

Бывают случаи пробоя на корпус верхних стержней. В этом случае ремонт проще.

Если при попытках произвести частичную перемотку обмотки ротора обнаружилось, что изоляция оставшейся части обмотки пришла в ветхость, необходимо произвести полную перемотку ротора с заменой всей изоляции стержней. Нужно отметить, что стержне-

вая обмотка ротора полностью восстанавливаема и допускает ее использование до трех раз. В случае перегорания стержней при витковых и корпусных замыканиях поврежденные стержни заменяют новыми или производят пайку их. В этом случае большая часть поврежденного стержня используется, в месте повреждения срезают и зачищают конец на конус, подбирают необходимых размеров кусок медной шины, один конец которого также зачищают на конус. Оба куска медной шины срезанными концами накладывают один на другой и спаивают серебряным припоем. Роторные стержни сваривают также встык на специальном станке (рис. 48).

Перед перемоткой обмоток статора и фазного ротора следует ознакомиться с фактическими обмоточными данными и записать их в ремонтную карточку. Данные должны быть проверены по заводским таблицам либо необходимо сделать поверочный расчет.

Ремонт роторных контактных колец

Роторные кольца в процессе эксплуатации выходят из строя по причине пробоя на корпус, пробоя кольца на проходящую через него контактную шинку другого кольца (пробой между фазами) или значительного подплавления контактных колец от витковых замы-

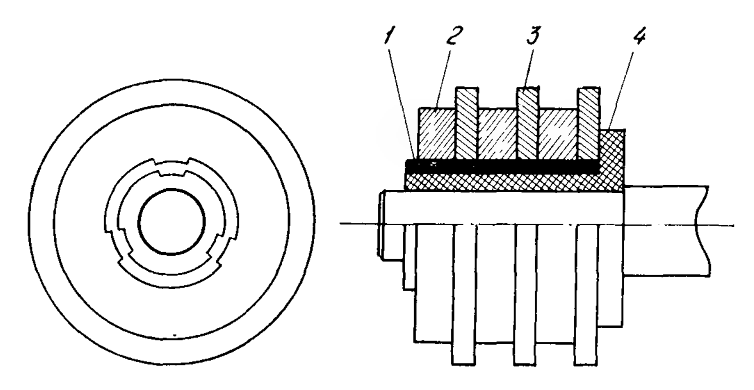


Рис. 49. Контактные кольца ротора

каний в обмотке. В таких случаях роторная головка подлежит полной разборке и ремонту. Роторные головки заводы изготавливают с пластмассовой изоляцией. В условиях ремонтных цехов восстановление такой роторной головки затруднительно. В некоторых ЭРЦ металлургических заводов ремонт роторных головок (рис. 49) производят следующим образом. Вытачивают стальные цилиндрические втулки *4* с заплечиком, с внутренним диаметром на 0,1 мм меньше посадочного места на валу, толщина втулки 15—25 мм. На втулке под углом в 120° прострагивают три паза для размещения выводных концов. Втулку до заплечика по всей длине изолируют несколькими слоями формовочного миканита *1* на бакелитовом или другом клеящем лаке на общую толщину в 2—3 мм. Втулку вместе с изоляцией обтягивают и зажимают в специальном приспособлении. Опрессованную

втулку устанавливают в сушильную печь, где при температуре 120—160° С запекают. После запечки втулку извлекают из приспособления. Из отливок серого чугуна, стали, бронзы или меди (в зависимости от мощности двигателя) вытачивают три контактных кольца *2*. Внутренний диаметр контактных колец должен быть на 0,8—1,0 мм меньше наружного диаметра втулки с изоляцией. Выводные шины припаивают к кольцам латунью и изолируют формовочным миканитом, а затем изоляцию запекают в сушильной печи. Вытачивают три гетинаксовые шайбы *3* толщиной в 10—15 мм и с наружным диаметром, на 10 мм превышающим диаметр контактных колец. Внутренний диаметр шайб должен быть на 0,2 мм больше диаметра изолированной втулки.

Контактные кольца подогревают в сушильной печи до 200—250° С. Втулку по поверхности смазывают клеящим лаком. Первой на втулку насаживают гетинаксовую шайбу до упора в заплечик. Затем насаживают нагретое контактное кольцо, потом шайбу, кольцо, шайбу и последнее кольцо. Собранную головку сушат, а позже в горячем виде насаживают на вал ротора. На токарном станке головку ротора протачивают, изоляционные шайбы должны быть выше контактных колец на 3—5 мм.

Если вышли из строя выводные шинки и изоляция, то головку разбирают, шинки отпаивают, место паек зачищают, изготавливают и впаивают новые шинки. Сборку головки производят, как указывалось выше.

Ремонт токосъемного устройства

Щеточный аппарат у машин переменного тока состоит из пальца, щеткодержателей и траверсы. Палец представляет собой круглый или прямоугольный металлический стержень, чаще всего стальной, у которого место для посадки щеткодержателей должно быть заизолировано формовочным миканитом и кабельной бумагой. Щеткодержатель может быть цельноштампованным, штампованно-клепаным, сварным или литым. Зазор между щеткодержателем и щеткой должен быть не менее 0,1 мм; нажим пружин на щетку устанавливают по нормам. Ток должен проходить только через медные поводки, надежно впрессованные в щетку.

Между соседними щеткодержателями на пальце устанавливают изоляционные шайбы толщиной 5—6 мм.

Выход из строя щеточного аппарата может произойти по причине пробоя щеткодержателя на палец, оплавления щеткодержателя при чрезмерно больших токах от витковых замыканий обмотки ротора, ослабления пружины щеткодержателя от токов, проходящих вместо поводков через пружину при обрыве нитей поводка, и, наконец, заклинивания щетки в щеткодержателе при механических повреждениях щеткодержателя или попадания большого количества щеточной пыли между щеткой и щеткодержателем.

В случае пробоя щеткодержателя на палец разбирают щеточный аппарат, снимают изоляцию с пальца, палец очищают, место под изоляцию на пальце покрывают бакелитовым лаком и на него туго нама-

тывают полоску формовочного миканита вместе с такой же полоской кабельной бумаги на бакелитовом лаке, а затем изоляцию запекают в сушильной печи. После запечки снимают излишек изоляции до необходимого размера.

При оплавлении щеткодержателя в зависимости от степени оплавления либо заменяют щеткодержатель на новый, либо оплавление снимают напильником. Если пружина щеткодержателя опустилась и стала мягкой, ее нужно заменить; щетку следует проверить и при необходимости заменить.

При заклинивании щетки в щеткодержателе нужно вынуть щетку из щеткодержателя, продуть сжатым воздухом контактные кольца и щеточный аппарат, либо снять щеткодержатель и устранить механическое повреждение.

Замена короткозамкнутой обмотки ротора

Причинами повреждений короткозамкнутых роторов могут быть: обрывы литых стержней в пазу из-за дефектов при литье алюминия или его сплавов (усадочные и газовые раковины), разрывы по шву сварки медных или латунных стержней к замыкающему накоротко кольцу или изломы стержней в местах выхода из паза у роторов с паяными или сварными стержнями к кольцу.

Следует отметить, что обрывы у роторов с литыми клетками встречаются редко и, как правило, у электромашин старых конструкций. В случае обрывов литых клеток необходима перезаливка ротора, что в условиях ЭРЦ осуществить затруднительно. Для этого необходимо удалить старую клетку либо путем выплавки, что потребует последующей обработки листов активного железа с целью удаления остатков алюминия, либо растворения алюминия в 50%-ном растворе каустической соды в течение 3—4 ч. Новую клетку набирают из медных или латунных стержней. Чтобы не изменить пусковой характеристики двигателя вследствие изменения величины омического сопротивления при замене на медные стержни, высоту заменяемых стержней уменьшают на 1/3 против высоты паза, а верхнюю часть паза расклинивают стальными клиньями. В лобовых частях на расстоянии 20—30 мм от активного железа стержни изгибают с одной стороны ротора вправо, с другой — влево, внахлест один на другой, и эти места заваривают латунными или меднофосфористым припоями (ПФМ-7). Стальные стержни также загибают и сваривают электросваркой. Места сварки выравнивают на токарном станке. Таким образом, стальная клетка служит пусковой обмоткой.

У роторов с паяными или сварными стержнями при распайках или разрывах по шву делают пайку оторвавшихся стержней на серебряном припое ПСР-45 либо приварку их. В случае изломов стержней стержни обрезают на токарном станке с обеих сторон. Затем их выбивают из пазов. Заготовляют соответственные медные или латунные стержни, забивают в пазы на одном расстоянии от активного железа с обеих сторон. Вытачивают два кольца соответственно стержням, медные или латунные, и к ним приваривают концы стержней.

Для того чтобы исключить возможность излома стержней от температурных напряжений, длина лобовой части стержня от замыкающего накоротко кольца должна быть порядка 20—30 мм.

На практике оправдал себя опыт замены при ремонтах медных или латунных колец стальными, которые должны иметь большие сечения, соответственно проводимости металла. К стальным кольцам приварка стержней значительно упрощается.

5. БАЛАНСИРОВКА РОТОРОВ И ЯКОРЕЙ

Во время работы двигателя не должно быть вибрации. Небаланс нарушает центровку, разрушает подшипники, вызывает увеличенное искрение под щетками, ослабляет крепление лап к постели и приводит к преждевременному выходу из строя машины. Небаланс — это смещение центра тяжести с оси вращения.

Небаланс может быть вызван следующими причинами:

а) несимметричное расположение обмоток синхронного ротора — полюса находятся на различном расстоянии от оси вала по радиусу;

б) смещение обмоток ротора или якоря во время работы из-за ослабления бандажей, пазовых клиньев;

в) изогнутость вала;

г) облом балансировочных грузов;

д) резонансные колебания — сильная вибрация при определенном числе оборотов.

Для устранения вибрации производят балансировку ротора или якоря. При балансировке следует учитывать, что чем больше расстояние прикрепленного балансировочного груза от оси ротора, тем вес груза должен быть меньше. Существует два метода балансировки:

1) статический, который осуществляется при неподвижном роторе, якоре; 2) динамический, который производится при вращающемся роторе, якоре.

Тихоходные машины со скоростью 1000 об/мин и ниже обычно подвергаются статической балансировке. Статический метод балансировки заключается в перекатывании ротора, уложенного шейками вала на параллельные линейки или ролики. При перекатывании уравновешенного ротора он остается под тем углом поворота, на котором прекратилось принудительное движение. При небалансе ротор после прекращения принудительного движения качнется в одну или другую сторону, более тяжелая сторона будет находиться в нижней его точке. Динамическая балансировка осуществляется на станках МС-902 и МС-903 с электронными приставками.

6. РАСЧЕТ ОБМОТКИ СТАТОРА ТРЕХФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

В процессе ремонта статоров трехфазных асинхронных двигателей встречаются случаи, когда необходимо провести поверочный расчет обмоточных данных. Это бывает тогда, когда:

а) двигатель вышел из строя по причине ненормальной его работы после проведенных перемоток;

б) обмотку двигателя необходимо перемотать на другое напряжение или другие обороты с сохранением или некоторым увеличением его мощности;

в) отсутствует заводской паспорт двигателя.

При поверочном расчете задача заключается в нахождении наилучших соотношений между магнитными и электрическими нагрузками машины.

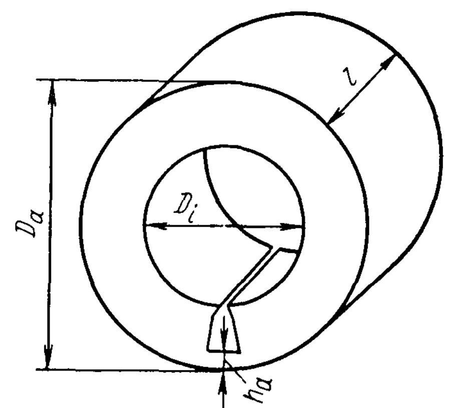


Рис. 50. Основные размеры железа статора

С чего начинают поверочный расчет?

Если сохранен заводской паспорт, то из него берут мощность, напряжение, обороты, к. п. д., cos φ.

Если паспорта нет, то составляют задание, в котором задают напряжение, обороты, примерную мощность.

Величину магнитной индукции в воздушном зазоре B_δ принимают по данным, приведенным ниже. В обоих случаях делают промер размеров железа статора: внутреннего диаметра расточки железа статора D_i, полной длины сердечника статора l, высоты спинки статора и ротора h_a, высоты зубца статора и ротора h_z. Определяют число пазов статора и снимают оттиск паза. Следует учитывать, что на заводе-изготовителе при конструировании машины внутренний диаметр расточки активной стали статора D_i и ее длина l определяют все прочие размеры двигателя (рис. 50).

Наружный диаметр активной стали D_a определяют по формуле

$$D_a = D_i + 2h_a + 2h_z.$$

Рекомендуемые значения магнитной индукции:

Участки магнитной цепи	Индукция, *гс*
Воздушный зазор ($2p = 2$)	6 000—6 700 6 500—8 500
Ярмо статора ($2p = 2$)	12 000—17 000
Зубцы статора в наиболее узком сечении (паз с параллельными стенками)	16 000—21 000
Зубцы статора в середине (то же при трапециевидных и грушевидных пазах)	13 000—17 000
Зубцы ротора в наиболее узком сечении (паз с параллельными стенками)	16 000—22 000
Зубцы ротора в середине	14 000—18 000
Ярмо ротора (спинка)	10 000—16 000

Мощность электродвигателя на валу определяют по формуле

$P_2 = KAB_\delta n$ квт,

где K — коэффициент, зависящий от размеров стали данного электродвигателя;

A — линейная нагрузка, а/см;

B_δ — индукция в воздушном зазоре, гс;

n — число оборотов электродвигателя.

Линейная нагрузка

$$A = \frac{2mw_ф I_1}{\pi D_i} \text{ а/см},$$

здесь m — число фаз;

$w_ф$ — число витков в фазе;

I_1 — сила тока в фазе;

D_i — внутренний диаметр расточки.

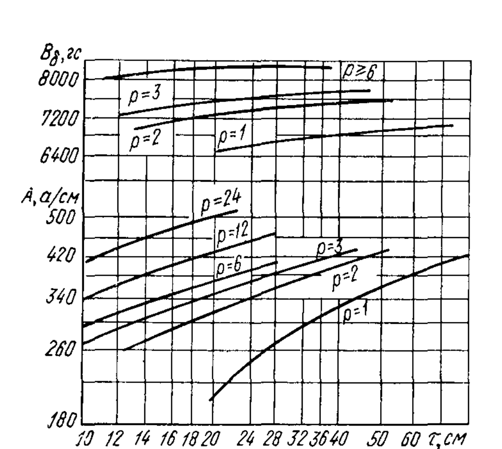


Рис. 51. Зависимость максимальной индукции в воздушном зазоре и линейной нагрузки от полюсного деления

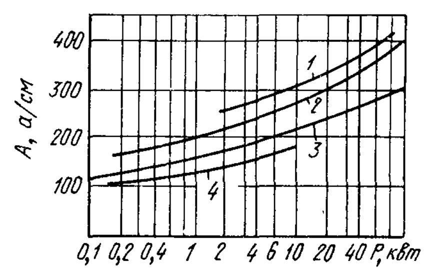


Рис. 52. Зависимость линейной нагрузки от мощности асинхронных двигателей

Значения для B_δ в зависимости от полюсного деления можно определить по кривым, приведенным на рис. 51, а для A — в зависимости от мощности электродвигателя по кривым, приведенным на рис. 52.

Определение сечения паза

Наиболее распространенные формы пазов статоров показаны на рис. 53. Для определения сечения паза в свету (см²) пользуются следующими формулами в зависимости от формы паза:

а) $Q_п = \frac{\pi}{8}(b_1^2 + b_2^2) + \frac{h}{2}(b_1 + b_2)$;

б) $Q_п = \frac{\pi}{2}(b_1^2 + 4r_2^2) + \frac{h}{2}(b_1 + b_2) + r_2 b_2'$;

в) $Q_п = \frac{\pi}{8} b_1^2 + \frac{h}{2}(b_1 + b_2)$;

г) $Q_п = \frac{h}{2}(b_1 + b_2) + \frac{h'}{2}(b_0 + b_1)$.

Следует иметь в виду, что в современных электродвигателях мощностью до 100 квт на общее сечение меди в пазу падает около 20—40% от общего сечения паза в свету. Все остальное пространство

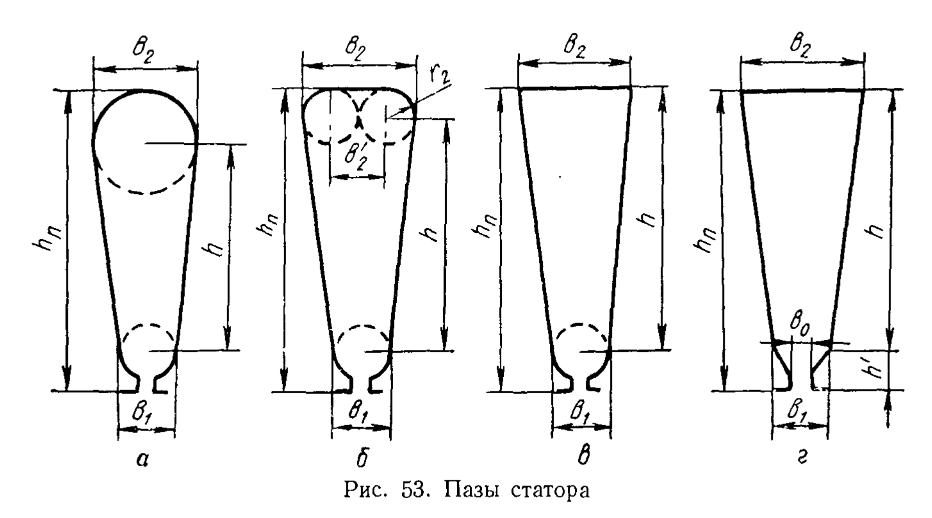


Рис. 53. Пазы статора

паза занято пазовой и витковой изоляцией, прокладкой между секциями, клином, пропиточным лаком. Коэффициент заполнения паза подсчитывают по формуле

$$f_{з.\,п} = \frac{S_м N_п}{Q_п},$$

где $S_м$ — сечение провода;

$N_п$ — число проводников в пазу;

$Q_п$ — сечение паза в свету.

Применение провода типа венифлекс, пазовой изоляции в виде синтетических (триацетатных) пленок значительно увеличит коэффициент заполнения паза при повышении качества изоляции.

Расчет электродвигателя при отсутствии обмоточных данных

Кажущуюся мощность, потребляемую электродвигателем из сети, определяют по формуле

$$P_s = 1{,}61 A B_\delta D_i^2 l_0 n K_1 \cdot 10^{-12} \text{ ква},$$

где D_i — диаметр внутренней расточки статора, см;

l_0 — расчетная длина активной стали, см;

K_1 — обмоточный коэффициент (при диаметральном шаге), равный 0,96—1,0;

A — линейная нагрузка;

n — число оборотов в минуту.

Расчетную длину активной стали при наличии вентиляционных каналов определяют по следующей формуле:

$$l_0 = K_0 (l - n_к b_к) \text{ см},$$

где K_0 — коэффициент заполнения листов железа (табл. 6);
l — общая длина стали, см;
$n_к$ — число каналов;
$b_к$ — ширина канала, см.

Как указывалось выше, расчет начинается с подбора магнитной индукции в воздушном зазоре. При подборе следует учитывать, что чем машина больше и чем лучше она вентилируется, тем индукция в воздушном зазоре B_δ выше. Самые низкие значения индукции берутся для закрытых машин.

Задаются числами оборотов, если они неизвестны. Определяют длину полюсного деления по формуле

$$\tau = \frac{\pi D_i}{2p} \text{ см},$$

где $2p$ — число полюсов;
D_i — диаметр расточки статора.

Находят величину магнитного потока одного полюса:

$$\Phi = 0{,}637 B_\delta \tau l_0 \text{ мкс}.$$

Таблица 6

КОЭФФИЦИЕНТ ЗАПОЛНЕНИЯ ЛИСТОВ ЖЕЛЕЗА

Изоляция	Коэффициент заполнения при толщине листа, *мм*	
	0,5	0,35
Бумага	0,9	0,87
Лак	0,93	0,9
Без изоляции	0,95	0,93

Также определяют максимальную индукцию в наиболее узком месте зубцов статора:

$$B_z = 1{,}57 \frac{\Phi}{0{,}95 Q_z} \text{ гс}.$$

Сечение зубцов Q_z определяют по формуле

$$Q_z = \frac{Z}{2p} b_z l_0 \text{ см}^2,$$

где Z — число пазов;
b_z — ширина зубца.

Полученное значение индукции сравнивают с рекомендуемым. Далее определяют индукцию в спинке статора $B_а$:

$$B_а = \frac{\Phi}{2 \cdot 0{,}95 Q_а} \text{ гс}.$$

Сечение спинки статора $Q_а$ находят по формуле

$$Q_а = l_0 h_а \text{ см}^2,$$

где $h_а$ — высота спинки, см.

Эту величину индукции B_a также проверяют по рекомендуемым. Индукцию в воздушном зазоре определяют по формуле

$$B_\delta = 1,57 \frac{\Phi}{Q_\delta} \text{ гс.}$$

Сечение воздушного зазора

$$Q_\delta = \tau l_0 \text{ см}^2.$$

Если при проверке оказывается, что индукция в спинке статора меньше рекомендуемой величины, то число полюсов взято больше,

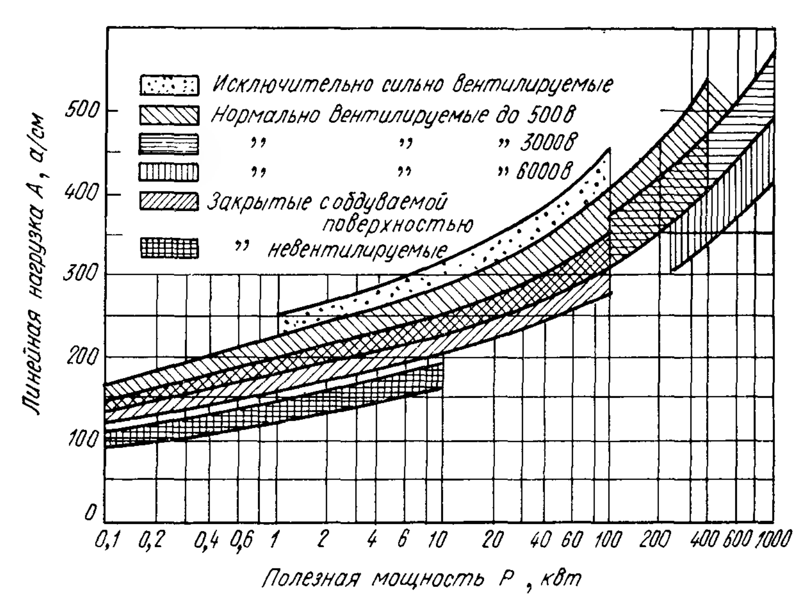


Рис. 54. Зависимость линейной нагрузки от полезной мощности

чем следовало. Если индукция в спинке статора оказалась большей, чем рекомендовано, то число полюсов взято меньше. Может оказаться, что индукция в зубцах и спинке больше рекомендуемых величин, это покажет, что взятая индукция в воздушном зазоре велика.

После проведенных расчетов задаются по кривым величиной линейной нагрузки (рис. 54), а по ней определяют потребляемую мощность. По потребляемой мощности находят мощность на валу электродвигателя:

$$P_2 = P_s \eta \cos\varphi \text{ квт,}$$

где η — к. п. д.;

$\cos\varphi$ — коэффициент мощности.

Эти коэффициенты находятся по табл. 7.

Таблица 7

КОЭФФИЦИЕНТЫ ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ η И МОЩНОСТИ $\cos\varphi$ ДЛЯ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ТРЕХФАЗНОГО ТОКА

Мощность, *квт*	Электродвигатели защищенного исполнения с короткозамкнутым ротором								Электродвигатели защищенного исполнения с фазным ротором и щетками					
	скорость вращения (синхронная), *об/мин*													
	3000	1500	1000	750	3000	1500	1000	750	1500	1000	750	1500	1000	750
	η, %				$\cos\varphi$				η, %			$\cos\varphi$		
1	79,0	78,5	77,0	—	0,86	0,79	0,72	—	—	—	—	—	—	—
1,7	81,5	81,5	79,5	—	0,87	0,82	0,75	—	—	72,5	—	—	0,72	—
2,8	84,0	83,5	82,5	—	0,88	0,84	0,78	—	78,0	75,5	—	0,82	0,74	—
4,5	85,5	85,5	84,5	83,5	0,88	0,85	0,80	0,76	80,0	78,5	76,5	0,83	0,76	0,72
7,0	87,0	87,0	86,0	85,0	0,86	0,86	0,81	0,78	82,0	81,0	79,5	0,84	0,78	0,74
10	87,5	87,5	86,5	85,0	0,89	0,88	0,82	0,80	83,5	82,5	81,5	0,85	0,79	0,76
14	87,5	88,5	87,0	87,0	0,89	0,88	0,83	0,81	84,5	84,0	83,0	0,86	0,80	0,77
20	88,5	89,0	88,0	88,0	0,90	0,88	0,84	0,82	86,0	85,0	84,5	0,86	0,81	0,79
28	89,0	90,0	89,0	89,0	0,90	0,88	0,85	0,83	87,0	86,5	86,0	0,87	0,82	0,80
40	90,0	90,5	90,0	90,0	0,91	0,89	0,86	0,84	88,0	87,5	87,5	0,87	0,83	0,81
55	90,5	91,0	91,0	91,0	0,91	0,89	0,87	0,84	89,0	88,5	88,5	0,87	0,83	0,82
75	91,0	91,5	92,0	—	0,91	0,89	0,88	—	90,0	89,5	—	0,88	0,84	—
100	91,5	92,0	—	—	0,92	0,89	—	—	90,5	—	—	0,88	—	—

По величине фазного напряжения $U_ф$ определяют число последовательно соединенных витков в фазе:

$$w_ф = \frac{U_ф 10^6}{2{,}22 K_1 Ф}$$

где K_1 — обмоточный коэффициент, определяют его по табл. 8.

Таблица 8

ОБМОТОЧНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СОКРАЩЕНИЯ ШАГА ОБМОТКИ

Число секций в катушке	Коэффициент распределения обмотки	Сокращение шага обмотки									
		0,95	0,90	0,85	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
		обмоточный коэффициент									
1	1,000	0,997	0,988	0,972	0,951	0,924	0,891	0,853	0,809	0,760	0,700
2	0,966	0,963	0,954	0,939	0,919	0,893	0,861	0,824	0,781	0,734	0,676
3	0,960	0,957	0,948	0,933	0,913	0,887	0,885	0,819	0,777	0,730	0,672
4	0,958	0,955	0,947	0,931	0,911	0,885	0,854	0,817	0,775	0,728	0,671
5—7	0,957	0,954	0,946	0,930	0,910	0,884	0,853	0,816	0,774	0,727	0,670
8	0,956	0,953	0,945	0,929	0,909	0,883	0,852	0,815	0,773	0,727	0,669
9 и более	0,955	0,952	0,944	0,928	0,908	0,882	0,851	0,815	0,773	0,726	0,668

Наконец, определяется линейный ток:

$$I_л = \frac{P_s 1000}{\sqrt{3} U_л} \text{ а.}$$

По величине тока и допустимой плотности тока определяют сечение провода:

$$S_{пр} = \frac{I}{\Delta i} \text{ мм}^2,$$

где Δi — плотность тока, *а*.

Плотность тока подбирают в зависимости от вентиляции электродвигателя.

Допустимая плотность тока в обмотках статора, а/мм²:

Исполнение машин:

Закрытые невентилируемые	2—3,5
Закрытые обдуваемые	3,5—4,5
Защищенные с радиальной вентиляцией	4,5—6,5
С усиленной вентиляцией	6,5—8,0

При выборе двухслойных обмоток применяют наиболее выгодное укорочение в пределах от 0,75 до 0,83 диаметрального шага. Провод удобнее укладывать через щель паза, поэтому рекомендуется приме-

нять провод диаметром по изоляции на 0,3—0,4 мм тоньше ширины шлица (табл. 9). Нельзя применять обмоточный провод прямоугольного сечения, близкого к квадрату, так как при намотке обмотки он будет закручиваться и перетирать изоляцию.

Пример. Рассчитать обмотку. Принимаем: $U_ф = 220$ *в*, $2p = 4$. Размеры, снятые с натуры: диаметр расточки $D_i = 310$ мм; длина активной стали статора $l_а = 195$ мм; число воздушных каналов $n_к = 4$; ширина канала $b_к = 5$ мм; высота спинки активной стали статора $h_а = 43$ мм; ширина зубца статора $b_з = 6,6$ мм; число пазов статора $Z_{ст} = 72$, число пазов ротора $Z_р = 90$; длина активной стали ротора $l_р = 200$ мм; наименьшая ширина зубца ротора $b_р = 5$ мм; высота спинки ротора $h_{а.р} = 42$ мм.

1. Задаемся индукцией в воздушном зазоре: $B_\delta = 8000$ гс, двигатель хорошо вентилируется.

2. Определяем величину полюсного деления:

$$\tau = \frac{\pi D_i}{2p} = \frac{3,14 \cdot 31}{4} = 24,3 \text{ см}.$$

3. Определяем расчетную длину активной стали с исключением воздушного зазора:

$$l_0 = K_0 (l - n_к b_к) = 0,95 (19,5 - 4 \cdot 0,5) = 16,6 \text{ см}.$$

При толщине листа 0,5 между листами нет изоляции, $K_0 = 0,95$.

4. По формуле определяем магнитный поток:

$$\Phi = 0,637 B_\delta \tau l_0 = 0,637 \cdot 8000 \cdot 24,3 \cdot 16,6 = 2\,055\,614 \text{ мкс}.$$

5. Определяем сечение зубцов статора на полюсное деление:

$$Q_z = \frac{Z}{2p} h_з l_0 = \frac{72}{4} \cdot 0,66 \cdot 16,6 = 197,2 \text{ см}^2.$$

6. Определяем максимальную индукцию в зубцах статора:

$$B_z = 1,57 \frac{\Phi}{0,95 Q_z} = 1,57 \cdot \frac{2\,055\,164}{0,95 \cdot 197,2} = 17\,227 \text{ гс}.$$

7. Определяем индукцию в спинке статора:

$$B_а = \frac{\Phi}{2 \cdot 0,95 \cdot l_0 n_а} = \frac{2\,055\,614}{2 \cdot 0,95 \cdot 16,6 \cdot 4,3} = 15\,156 \text{ гс}.$$

Сравнивая полученные значения индукции в зубце и спинке статора с рекомендуемыми, делаем вывод, что расчет удовлетворительный, так как полученные значения индукции входят в нормы рекомендованных.

Если бы индукция получилась завышенной или заниженной, то следовало бы изменить число полюсов в большую или меньшую сторону.

8. Находим максимальную индукцию в зубцах ротора в наиболее узком месте, где ширина зубца 0,5 *см*, а сечение

$$Q_{zр} = \frac{Z_р}{2p} = b_р l_р = \frac{90}{4} 0,5 \cdot 20 = 224 \text{ см}^2,$$

$$B_{zр} = 1,57 \frac{\Phi}{0,95 \cdot Q_{zр}} = 1,57 \frac{2\,055\,614}{0,95 \cdot 224} = 15\,100 \text{ гс}.$$

Таблица 9

ТОЛЩИНА ИЗОЛЯЦИИ, *мм*, ДЛЯ РАЗНЫХ МАРОК ОБМОТОЧНОГО ПРОВОДА
(ГОСТ 7262—70, 2773—69)

Марка провода	Толщина изоляции, мм, для круглых проводов диаметром, мм									
	0,1—0,19	0,2—0,25	0,27—0,29	0,31—0,35	0,38—0,49	0,51—0,72	0,74—0,96	1,1—1,45	1,5—2,1	2,26—5,20
ПЭВ-1	0,030	0,030—0,040	0,040	0,040	0,040	0,050	0,060	0,07—0,08	0,08—0,1	0,100
ПЭВ-2	0,03—0,04	0,04—0,05	0,050	0,05—0,06	0,06—0,07	0,07—0,08	0,09	0,110	0,11—0,13	0,13
ПЭЛШКО	0,075	0,09	0,100	0,105	0,110	0,115	0,125	0,135	0,155	—
ПЭЛБО	—	0,125	0,155	0,160	0,165	0,175	0,180	0,210	0,210	—
ПБД	—	0,190	0,220	0,220	0,220	0,220	0,220	0,270	0,270	0,330
ПЭЛБД	—	—	—	—	—	—	0,280	0,330	0,330	—
ПЭЛШД	—	—	—	—	—	—	0,190	—	—	—
ПЭЛБТ	—	—	—	—	—	—	—	0,210	0,210	—
ПЭЛБВ	—	—	—	—	—	0,120	0,125	0,140	—	—
ПЭТСО	—	—		0,200	0,200	0,200	0,220	0,220	0,240	—
ПСД	—	—	—	0,230	0,230	0,250	0,250	0,270	0,270	0,330
ПДА	—	—	—	—	—	—	—	0,300	0,300	0,350

9. Определяем индукцию в ярме (спинке) ротора:

$$B_{а.р} = \frac{\Phi}{2 \cdot 0,95 \cdot Q_{а.\,р}} = \frac{2\,055\,614}{2 \cdot 0,95 \cdot 84} = 12\,900 \text{ гс},$$

$$Q_{а.р} = h_{а.\,р} l_р = 4,2 \cdot 20 = 84 \text{ см}^2.$$

Таким образом, полученные значения индукции в зубцах и спинке ротора соответствуют рекомендуемым, что свидетельствует об удовлетворительном ходе расчета.

Когда замеры в роторе произвести невозможно, то ограничиваются проверкой индукции в статоре.

10. Если ориентировочно по габаритам электродвигателя определить его мощность в 50—60 квт, то по кривой, приведенной на рис. 54, линейная нагрузка A будет 250 а/см, а потребляемая от сети мощность

$$P_s = 1,61 \cdot AB_\delta D_i^2 l_0 k \cdot 10^{-12} = 1,61 \cdot 200 \cdot 8000 \cdot 31^2 \cdot 16,6 \cdot 1500 \cdot 0,96 \cdot 10^{-12} =$$
$$= 71 \text{ ква}.$$

Откуда можно определить мощность электродвигателя:

$$P_2 = P_s \eta \cos\varphi = 71 \cdot 0,89 \cdot 0,87 = 55 \text{ квт}.$$

Величины η и $\cos\varphi$ взяты из табл. 7.

11. Число последовательно соединенных витков в одной фазе статорной обмотки при соединении фаз звездой:

$$w_ф = \frac{U_ф 10^6}{2,22 K_1 \Phi} = \frac{220 \cdot 10^6}{2,22 \cdot 0,972 \cdot 2\,055\,614} = 50 \text{ витков},$$

K_1 — обмоточный коэффициент взят из табл. 8,
$K_1 = 0,972$ для двухслойных обмоток с сокращением шага 0,85.

12. Определяем линейный ток:

$$I_л = \frac{P_s 1000}{\sqrt{3}\, U_л} = \frac{71 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 380} = 110 \text{ а}.$$

Принимаем плотность тока 6 а/мм².

Таким образом, сечение обмоточного провода определится:

$$S_{пр} = \frac{I_л}{\Delta i} = \frac{110}{6} = 18 \text{ мм}^2.$$

В связи с тем что шлиц паза равен 3 мм, для удобства укладывания обмотки через шлиц принимаем четыре параллельные ветви:

$$\frac{18}{4} = 4,5 \text{ мм}^2,$$

чему соответствует по ГОСТу диаметр круглого обмоточного провода 2,44 мм сечением 4,68 мм² с толщиной изоляции (по табл. 9) 2—5—0,33 мм.

Если обмотку мотать в два провода параллельно, то сечение и диаметр провода будут:

$$S = \frac{4,5}{2} = 2,25 \text{ мм}^2, \quad d = 1,68 \text{ мм},$$

7. РАСЧЕТ ТРЕХФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ РАБОТЫ В ОДНОФАЗНОМ РЕЖИМЕ БЕЗ ПЕРЕМОТКИ ОБМОТКИ

Трехфазный двигатель может работать в однофазном режиме при включении его в сеть по схемам с конденсаторами.

Эти схемы изображены на рис. 55, где показано включение обмоток статора как на звезду, так и на треугольник. В этих случаях напряжение сети подается к началам двух фаз обмотки. К началу третьей фазы и одному зажиму сети подсоединяется рабочий конденсатор *1* и пусковой конденсатор *2*, последний служит для увеличения пускового момента. После запуска электродвигателя пусковой конденсатор *2* отключается.

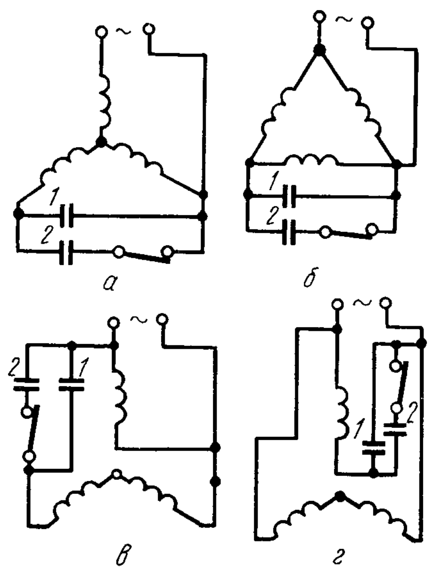


Рис. 55. Схемы включения конденсаторов в цепь статора трехфазного асинхронного двигателя:

1 — рабочий конденсатор; *2* — отключаемый конденсатор

Пусковая емкость подсчитывается по формуле:

$$C_п = C_р + C \text{ мкф},$$

где $C_р$ — рабочая емкость;

$C_о$ — отключаемая емкость.

Изменение направления вращения осуществляют путем переключения сети с одного зажима конденсатора на другой. Рабочая емкость конденсатора (*мкф*) для частоты в 50 гц определяется применительно к схемам, приведенным на рис. 55: *а* — 2800; *б* — 4800; *в* — 1600; *г* — 2740.

Если включать электродвигатель без нагрузки, то необходимости в пусковой емкости нет, рабочая емкость будет одновременно и пусковой. Включение под нагрузкой осуществляется с помощью пусковой емкости, величину которой определяют по формуле

$$C_п = (2{,}5 \div 3)\, C_р.$$

По номинальному напряжению сети выбирают конденсатор в соответствии со схемой, изображенной на рис. 55. Для схем *а* и *б* $U_{конд} \approx 1{,}15U$; для схемы *в* $U_{конд} \approx 2 \cdot 2U$; для схемы *г* $U_{конд} \approx 1{,}3U$, где U — напряжение сети.

Технические данные конденсаторов приведены в табл. 10.

Пример. Определить рабочую и пусковую емкость для двигателя типа АОЛ-11/2: 220/380 в; 0,86/0,5 а; 0,18 квт; 2800 об/мин.

А. Схема *а* (рис. 55), $I_н = 0{,}86$ *а*, $U = 220$ в

1. Рабочая емкость:

$$C_р = 2800 \frac{I_н}{U} = 2800 \frac{0{,}86}{220} = 11 \text{ мкф}.$$

Таблица 10

ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ КОНДЕНСАТОРОВ

Тип конденсатора	Рабочее напряжение	Емкость мкф	Тип конденсатора	Рабочее напряжение	Емкость мкф
МБГ-4	250	1	КБГ-МН	250	1
	250	2		250	2
	250	4		200	4
	250	10		200	6
	500	1		200	8
	500	2		300	1
	500	4		300	2
	750	1		250	4
	750	2		250	6

Примечание. Конденсаторы типа МБГЧ — металлобумажные, герметизированные, частотные; конденсаторы КБГ-МН — бумажные, герметические, нормальные в металлическом прямоугольном корпусе.

2. Номинальное напряжение конденсатора:

$U_{н.\,конд} = 1{,}15U = 1{,}15\cdot 220 = 253$ в.

3. Пусковая емкость:

$C_п = 2{,}5\cdot C_р = 2{,}5\cdot 11 = 27{,}5$ мкф.

4. Номинальное напряжение конденсатора:

$U_{н.\,к} = 1{,}15U = 1{,}15\cdot 220 = 253$ в.

По табл. 10 выбираем конденсаторы: для рабочей емкости МБГ-4 3 шт. по 4 мкф на 250 в и для пусковой — МБГ-4 3 шт. по 10 мкф на 250 в.

Б. Схема *б* (рис. 55), $I_н = 0{,}86$, $U = 220$ в:

1. $C_р = 4800\dfrac{I_н}{U} = 4800\dfrac{0{,}86}{220} = 18{,}7$ мкф.

2. $U_{н.\,конд} = 1{,}15\,U = 1{,}15\cdot 220 = 253$ в.

$C_п = 2{,}5C_р = 2{,}5\cdot 18{,}7 = 46{,}75$ мкф.

По табл. 10 выбираем конденсаторы:
для рабочей емкости — МБГ-4 5 шт. по 4 мкф на 250 в;
для пусковой емкости — МБГ-4 5 шт. по 10 мкф на 250 в;

В. Схема *а* (рис. 55), $I_н = 0{,}5$ а, $U = 380$ в.

1. $C_р = 2800\dfrac{I_н}{U} = \dfrac{0{,}5}{380} = 3{,}7$ мкф.

2. $U_{н.\,конд} = 1{,}15\cdot U = 1{,}15\cdot 220 = 253$ в.

3. $C_п = 2{,}5\cdot C_р = 2{,}5\cdot 3{,}7 = 9{,}25$ мкф.

По табл. 10 выбираем конденсаторы: для рабочей емкости — МБГ-4 1 шт. по 4 мкф; для пусковой емкости — МБГ-4 1 шт. по 10 мкф.

8. РАСЧЕТ ТРЕХФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ РАБОТЫ В ОДНОФАЗНОМ РЕЖИМЕ С ПЕРЕМОТКОЙ ОБМОТКИ

Асинхронные однофазные электродвигатели с короткозамкнутым ротором должны иметь две обмотки: рабочую и пусковую, которые рассчитываются так же, как и обмотки трехфазного электродвигателя.

Так же замеряется диаметр внутренней расточки статора D_i, длина активного железа l, просчитывается число пазов $Z_{ст}$, определяется по формуле площадь поперечного сечения воздушного зазора:

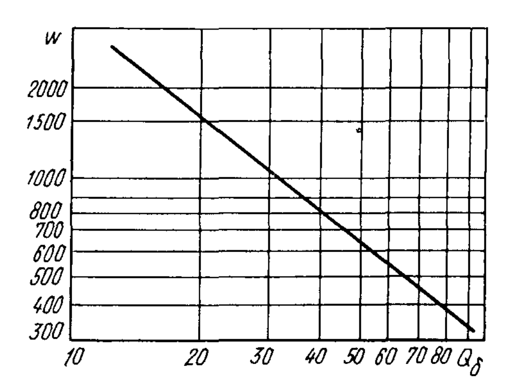


Рис. 56. Кривая для определения числа последовательно соединенных витков рабочей обмотки

$$Q_\delta = \tau l = \frac{\pi D_i}{2p} l \text{ см}^2,$$

где τ — полюсное деление, см;
$2p$ — число полюсов;
l — длина активного железа.

Подсчитав полюсное деление в воздушном зазоре по кривой (рис. 56), определяют число последовательно соединенных витков рабочей обмотки $w_ф$ для напряжения 220 в.

У однофазных электродвигателей рабочая обмотка занимает 2/3 числа пазов статора, 1/3 числа пазов статора приходится на пусковую обмотку.

Поэтому число витков в одном пазу рабочей обмотки (в одной секции) определится:

$$w = \frac{3w_ф}{2/3Z},$$

где Z — число пазов статора.

В однофазном электродвигателе сила тока равна примерно половине силы тока трехфазного электродвигателя. Зная значение допустимой плотности тока для данного типа электродвигателя определяют сечение провода:

$$S_{пр.\,раб} = \frac{I}{\Delta i} \text{ мм}^2.$$

Как указывалось выше, пусковая обмотка занимает 1/3 пазов статора. Сечение провода пусковой обмотки равно половине сечения провода рабочей обмотки, зато количество витков в пазу вдвое больше, чем у рабочей обмотки. Шаги по пазам в рабочей и пусковой обмотке одинаковы и подсчитываются, как для трехфазного электродвигателя.

Пример. Пересчитать трехфазный электродвигатель типа АО/31/2 на однофазный.

Данные двигателя: $P_2 = 0{,}6$ квт; $U = 220/380$ в; $I = 2{,}4/1{,}4$ а; $n = 2860$ об/мин; $\eta = 76$; $\cos\varphi = 0{,}85$; $D_i = 8{,}2$ см; $l = 6{,}4$ см; $2p = 2$; $Z_{ст} = 24$.

1. Определяем площадь полюсного деления воздушного зазора:

$$Q_\delta = \frac{\pi D_i}{2p}\, l = \frac{3{,}14 \cdot 8{,}2}{2} \cdot 6{,}4 = 82 \text{ см}^2.$$

2. По кривой (рис. 56) определяем количество последовательно соединенных витков рабочей обмотки для 220 в:

$$w_ф = 400.$$

3. Число пазов, занятых рабочей и пусковой обмотками:

$$Z_{раб} = \frac{2}{3} Z = \frac{2}{3}\, 24 = 16,$$

$$Z_{пуск} = \frac{1}{3} Z = \frac{1}{3}\, 24 = 8.$$

4. Число витков в одном пазу (секции) рабочей обмотки

$$w_{раб} = \frac{3w_ф}{\frac{2}{3} Z} = \frac{3 \cdot 400}{\frac{2}{3} \cdot 24} = 75.$$

Обмотка однослойная, шаг 1—12.

5. Сечение провода и диаметр при плотности тока $\Delta i = 4$ а:

$$S_{раб} = \frac{I}{\Delta i} = \frac{2{,}4}{4} = 0{,}6 \text{ мм}^2.$$

По ГОСТу этому сечению соответствует сечение 0,581 мм² и диаметр провода 0,86 мм.

Принимаем провод марки ПЭВ-2 диаметром 0,86 мм.

6. Число витков пусковой обмотки

$$w_п = 2w_{раб} = 2 \cdot 75 = 150.$$

7. Сечение провода пусковой обмотки и диаметр

$$S_п = \frac{S_р}{2} = \frac{0{,}6}{2} = 0{,}3 \text{ мм}^2.$$

По ГОСТу этому сечению соответствует сечение 0,302 мм² и диаметр 0,62 мм.

Принимаем провод марки ПЭВ-2 диаметром 0,62 мм.

После запуска электродвигателя пусковая обмотка отключается.

9. СУШКА, ПРОПИТКА И ЛАКИРОВКА ОБМОТОК ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Сушка обмоток перед пропиткой

Обмотки и изоляционные материалы, которые хранились в помещении с нормальной влажностью (относительная влажность до 70%) содержат в порах и капиллярах влагу, которая снижает электрическую прочность изоляции и препятствует глубокому проникновению пропиточного лака в обмотку. Поэтому перед пропиткой обмотки

для удаления влаги подвергают сушке. В первую очередь это относится к обмоткам с хлопчатобумажной изоляцией.

Обмотки с кремнийорганической изоляцией, пропитанные нетермореактивными лаками (стекломиканиты, стекломикаленты), также до пропитки следует подвергать сушке, так как клеящие лаки в материалах могут при пропитке растворяться.

Обмотки, выполненные из эмалевых проводов с пазовой изоляцией из гибкого миканита и промасленного электрокартона, сушить обязательно.

Обмотки электрических машин, поступивших в электроремонтный цех с пониженной изоляцией для ревизий, подлежат сушке.

Температура сушки обмоток до пропитки

Температуру и длительность сушки следует задавать в соответствии с классом изоляции (табл. 11).

Таблица 11

ДОПУСТИМАЯ ТЕМПЕРАТУРА СУШКИ ПЕРЕД ПРОПИТКОЙ

Класс нагревостойкости	Нагревостойкость материала данного класса, °C	Оптимальная температура сушки °C	Время сушки, ч		Максимально-допустимая температура сушки °C
			катушки секций	обмотки статоров, роторов, якорей	
У	90	100—105	1—2	3—4	110
А	105	110—120	2—3	4—5	130
Е	120	120—130	2—3	4—5	140
В	130	130—140	2—3	4—6	150
Ф	150	150—160	2—3	4—6	180
Н	180	180—200	2—3	4—6	220

Время окончания сушки для статоров, роторов, якорей определяют замером сопротивления изоляции обмоток к корпусу, которое должно быть при верхнем пределе температуры не ниже 0,5 Мом. Чем выше температура сушки, тем быстрее происходит удаление летучих и влаги из обмотки. При увеличении температуры сушки с 110—120° С до 130—140° С продолжительность сокращается вдвое.

Однако температура для каждого класса изоляции должна быть ограничена в зависимости от ее нагревостойкости во избежание ускоренного старения изоляции обмотки при сушке. С повышением температуры сушки на 8—10 град, скорость старения изоляции увеличивается вдвое.

Пропитка обмоток электрических машин

Пропитка обмоток осуществляется с целью повышения нагревостойкости, влагостойкости, улучшения теплопроводности, повышения пробивной прочности, химической и механической прочности изоляции обмоток.

Число пропиток, которым подвергаются обмотки, зависит: от места установки машины, окружающей температуры и среды, условий эксплуатации, характера пуска, конструкции обмоток, изоляции, типа применяемых лаков и способа пропитки. При нормальном исполнении обмоток нужно осуществлять две, а при повышенных требованиях — три пропитки.

Основным способом пропитки обмоток является пропитка погружением в лак. Перед погружением обмотки должны иметь температуру 65—70° С, так как при более высокой температуре происходит быстрое улетучивание растворителей в лаке, что может привести к ускорению коагуляции (свертыванию) лака.

При первой пропитке обмотки выдерживают в лаке в течение 15—25 мин до прекращения выделения воздушных пузырей. Лаки, находящиеся в сосудах пропиточного отделения, должны соответствовать техническим требованиям, а по содержанию нелетучих должны проверяться в лабораториях не реже одного раза в шесть месяцев.

Пропитанные обмотки выдерживают над сосудом в течение 10—15 мин для стекания лака, после чего корпус статора или станины, железо статора, ротора, якоря, а также стальные бандажи и посадочные места валов протирают салфеткой, смоченной в растворителе, с целью удаления лаковой пленки. После этого обмотки погружают в сушильную печь.

Вязкость лака должна соответствовать требованиям. В случае повышения вязкости лак разбавляют соответствующими растворителями и проверяют с помощью воронки ВЗ-4, а при понижении вязкости добавляют неразведенный лак. При заливке растворителя в лак, температура лака и растворителя должна быть одинаковой, причем растворитель добавляют небольшими дозами и размешивают деревянной мешалкой. Технологические данные лаков приведены в табл. 12.

Выводные концы для предотвращения от пересыхания во время сушки нужно покрывать касторовым маслом.

Сушка обмоток после первой пропитки

После окончания пропитки и стекания пропиточного ла́ка обмотки сушат. Сушильную печь перед загрузкой обмоток следует нагреть до температуры 100—110° С и на тележку погрузить пропитанные лаком обмотки. Закрыть печь. Первые два часа сушки обмен в печи должен быть наибольший, для этого заслонку циркуляции воздуха в печи открыть полностью. Это время сушки обеспечивает удаление паров растворителя из обмотки.

После истечения двух часов заслонку выхода воздуха закрыть и сушить обмотки электрической машины, как указано в табл. 11. В последующее время сушки происходит процесс запекания пленки лака, время запекания зависит от массы детали машины и составляет от 4 до 12 ч в зависимости от применяемого лака.

Таблица 12

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ ЛАКОВ ДЛЯ ПРОПИТКИ ОБМОТОК ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Типы обмотки	Ступень технологии	Класс изоляции	Тип провода	Марка лака	Разбавитель	Вязкость по ВЗ-4 при 20° С	Содержание нелетучих %	Режим сушки: температура, °С	Режим сушки: продолжительность, ч	Число пропиток
Всыпная: статоров, якорей, роторов	Пропитка в узле	А	ПБД, ПЭЛБО	FФ95	Ксилол, уайтспирит 1 : 1	30—40	45	120—130	12—16	2
Шаблонная: роторов и статоров с изолировкой паза (витковая изоляция предварительно пропитана)		В	ПЭВ-2, ПЭТВ, ПСД	ФЛ98	То же	35—50	50	130—140	10—16	2
		F	ПСДТ, ПСД, ПСДТ	ПЭ933	Эртилцеллозольв, ксилол 1 : 1	30—50	50—55	I ступень 110—120	2—4	2
								II ступень 150—160	12—16	1
Шаблонная: якоря, статора и ротора	Пропитка витковой изоляции	А	ПБД	ФЛ98	Уайтспирит, ксилол 1 : 1	35—50	50	120—130	6—8	1
		В	ПСД	ФЛ98		35—50	50	110—140	6—8	1
		F			Этилцеллозольв, ксилол 1 : 1	30—50	50—55	I ступень 110—120	2—4	1
								II ступень 150—160	6—10	1
Шаблонные: якорей, статоров с корпусной изоляцией	Пропитка	А	ПБД	ФЛ-98	Уайтспирит, ксилол 1 : 1	35—50	50	120—130	6—8	1
		Б	ПСД	ФЛ-98		35—50	50	110—140	6—8	1
		F	ПСД	ПЭ-933	Этилцеллозольв, ксилол 1 : 1	30—35	50—55	I ступень 110—120	2—4	1
						30—50		II ступень 150—160	6—10	1

Типы обмотки	Степень технологии	Класс изоляции	Тип провода	Марка лака	Разбавитель	Вязкость по ВЭ-4 при 20° С	Содержание нелетучих %	Режим сушки: температура, °С	Режим сушки: продолжительность, ч	Число пропиток
Шаблонные: якорей (корпусная и витковая изоляция предварительно пропитаны)	Пропитка в якорях	A	ПБД	ФЛ-98	Уайтспирит, ксилол 1 : 1	35—50	50	120—130	10—20	2
		B	ПСД	ФЛ-98		35—50	50	130—140	10—20	2
		F	ПСД, ПСДТ	ПЭ-933	Этилцеллозольв, ксилол 1 : 1	30—50	50—55	I ступень 110—120	2—3	1
								II ступень 150—160	10—20	1
Шунтовые катушки машин постоянного тока[1]	Пропитка катушек	A	ПБД, ПЭЛБО, ПЭВ-2	1Ф-95		30—40	45	120—130	20—24	1
						35—50	50	130—140	12—20	1
		B	ПСД	ФЛ-98	Уайтспирит, ксилол 1 : 1	30—50	50—55	I ступень 110—120	2—4	1
		F	ПЭТВ ПСДТ	ПЭ-933				II ступень 150—160	12—20	1

[1] Пропитка осуществляется под вакуумом в отличие от остальных обмоток, пропитка которых осуществляется горячим погружением.

Повторные пропитки выполняются аналогично первым, но время выдерживания обмотки в лаке сокращается до 15 мин. Сушка после повторных пропиток также повторяется аналогично первой, а время запекания пленки сокращается от 2 до 4 ч. После каждой сушки следует проверять состояние изоляции мегомметром, сопротивление которой должно быть не ниже 0,5 Мом при верхнем пределе температуры.

Покрытие обмоток защитной эмалью

После пропитки и сушки обмотки электрических машин подвергают покрытию защитной эмалью. Защитную эмаль наносят на открытые места обмоток с целью создания защитной пленки от воздействия влаги, масла, а также механических повреждений.

Покровную эмаль подбирают в соответствии с классом изоляции обмоток, условий окружающей среды, в которой работает электрическая машина. Все лаки и эмали растворяются при одинаковой температуре эмали, лака и растворителей. Технологические данные покровных эмалей приведены в табл. 13.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ ПОКРОВНЫХ ЭМАЛЕЙ ДЛЯ ОБМОТОК ЭЛЕК

Тип обмотки	Класс изоляции	Эмаль	Состав и краткая характеристика
Обмотка статоров и катушек неподвижных частей	А	ГФ-92ХС	Серая (красная) эмаль, пигментированная нитроглифталевая, воздушной сушки
	В	ГФ-92ГС (СПД) ГФ-92ГК (КДА)	Серая (красная) эмаль, пигментированная, нитроглифталевая, печной сушки, пленка маслодугостойкая
		ЭП-91	Теплостойкая покровная на основе эпоксидных смол, темно-зеленого цвета
Обмотки роторов и якорей, катушек вращающихся частей	А В	ГФ-92ГС (СПД) ГФ-92ГК 9П-91	
Обмотки статоров и якорей, катушки неподвижных и вращающихся частей	А В	ГФ-92ГС (СНД) ГФ-ГК (КСД) ЭП-91	
Компаундированные обмотки электрических машин и пропитанные катушки	А	БТ-99	Покровный лак черного цвета из битума и масла, влагостоек, но не маслостоек

Растворители вливают небольшими порциями и перемешивают деревянной мешалкой.

Техника безопасности

При пропитке обмоток в лаке и покрытии их эмалью в пропиточном отделении нужно строго соблюдать правила техники безопасности:

1) при пропитке обязательно применять и покрывать незащищенную поверхность кожи руки пастой ХИОТ-6;

2) должна работать приточная и вытяжная вентиляция;

3) пропитчику находиться в пропиточном отделении только во время непосредственного выполнения работ;

4) в пропиточном отделении не применять ударных инструментов, вызывающих искру; не курить;

5) не применять растворитель для мытья рук.

Устройство и применение коаксиального термоэлектронагревателя

На заводе «Днепроспецсталь» в электроремонтном цехе для сушки статоров электродвигателей после пропитки (при температуре

Таблица 13

ТРИЧЕСКИХ МАШИН

Температура перед покрытием, °С	Разбавители	Вязкость по ВЗ-4	Режим сушки	Температура сушки, °С	Продолжительность сушки, ч
	Толуол, ксилол, уайтспирит	25—30	Воздушный	20±5	18—24
85±5	Толуол, ксилол	20—25	Печной	110±5	4—6
70±5	Этилцеллозольв	25—35	»	I ступень 20±5	1—2
				II ступень 180±5	1—2
85±5	Толуол, ксилол	20—25	»	110±5	4—6
85±5	То же	20—25	»	110±5	4—6
70±5	Этилцеллозольв	25—35	»	I ступень 20±5	1—2
				II ступень 180±5	2—4
85±5	Толуол, ксилол	20—25	»	110±5	4—8
85±5	То же	20—25	»	110±5	4—8
70±5	Этилцеллозольв	25—35	»	I ступень 20±5	1—2
				II ступень 180±5	2—4
35—50	Толуол, ксилол, уайтспирит	25—30	Воздушный	18—22	2—3

в камере 130° С), а также для сушки электродвигателей после покраски (при температуре 100° С) применены коаксиальные нагреватели заводской конструкции.

Нагреватель (рис. 57) состоит из трубки *3* диаметром 18,5×0,5 (нержавеющая сталь), обмотанной стеклолентой, смоченной в жидком

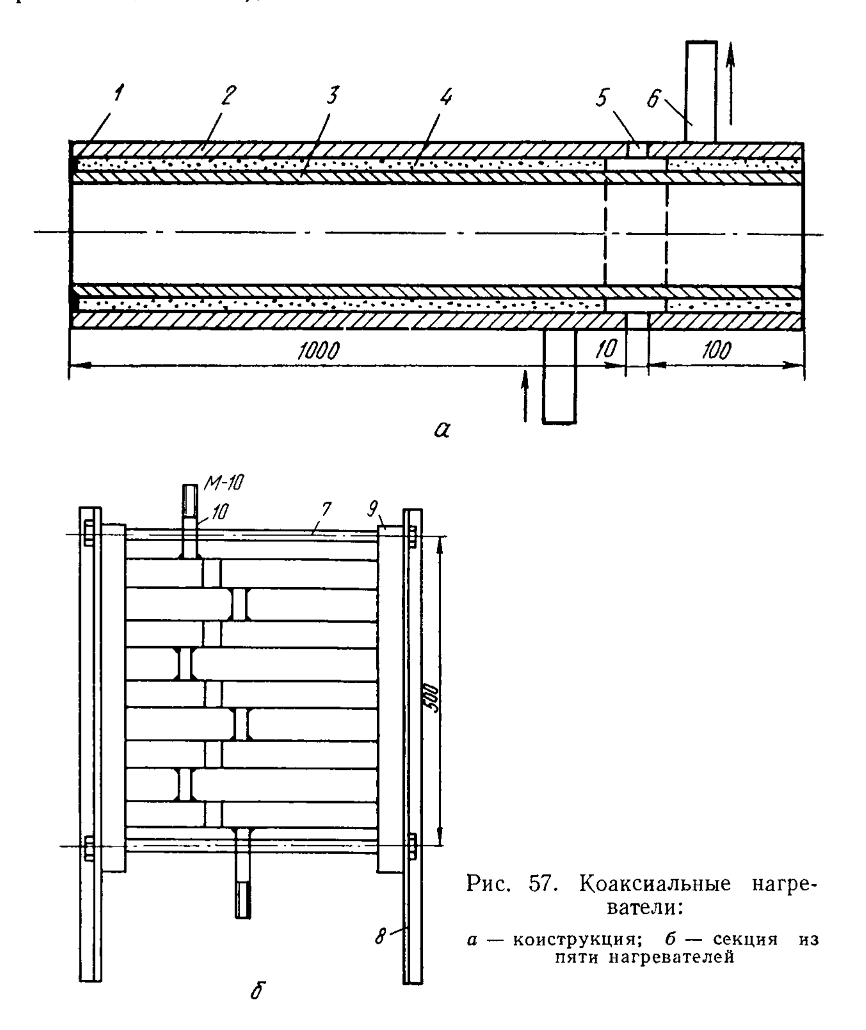


Рис. 57. Коаксиальные нагреватели:

а — конструкция; *б* — секция из пяти нагревателей

стекле, помещенной в газовую трубу *2* диаметром 27×2,5; втулки *5*, изготовленной из асбоцемента (втулка является центрирующей и изоляционной); токопроводящих шин *6*; стяжных шпилек *7*; уголков *8* (35×35, Ст.3, 2 шт.); асбоцементных планок *9*; токоподводящих шпилек *10*; центрируемых шайб *1*.

Зазор 1,5 мм (установлен экспериментально) засыпан кварцевым песком *4*.

Нагреватель питается переменным током промышленной частоты. Напряжение подается на токоподводящие шпильки.

Безопасность обеспечивается в соответствии с правилами технической эксплуатации и безопасности обслуживания электроустановок промышленных предприятий.

Технические данные нагревателя:

Потребляемая мощность, *вт* . .	400
Напряжение, *в*	4
Сила тока, *а*	100
В сушильной камере объемом 60 м³ установлено 150 коаксиальных нагревателей общей мощностью, *квт*	60
Подводимое напряжение, *в* . .	3×220
Нагреватели (в каждой фазе по 50 шт.) соединены последовательно по секциям (из 5 шт. каждая, рис. 57, *б*) и в звезду (рис. 58).	

Технические требования на изготовление нагревателей:

1. Трубы должны быть соосны.
2. Зазор должен быть минимальным, порядка 0,75÷1,0 мм.

Рис. 58. Схема соединений коаксиальных нагревателей

10. МЕХАНИЧЕСКИЙ РЕМОНТ ЧАСТЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Ремонт деталей корпуса

К деталям корпуса электромашины относятся станина и подшипниковые щиты. Наиболее частые повреждения станины — излом крепящих лап у чугунных станин и износ резьбы в крепежных отверстиях. Чугунные лапы восстанавливают методом электросварки. Для этого в месте излома на обеих частях лапы с обеих сторон снимают фаски под углом в 30—40° на глубину около четверти толщины лапы. Обе части лапы соединяют по излому и места соединений по фаске заваривают электросваркой. В качестве электрода применяют медный стержень толщиной 5—6 мм, обмотанный лентой из белой жести (биметаллический электрод). Для большей надежности поверх лапы приваривают стальную пластину толщиной 6—8 мм. Сварку делают по периметру пластины в месте сопряжения ее с лапой. В этом случае следует верхний сварной шов предварительно зачистить переносным наждачным камнем.

Износ резьбы в крепежных отверстиях станины восстанавливают так: резьбу перерезают на следующий размер, а отверстия под болты в подшипниковом щите соответственно рассверливают.

Что касается подшипниковых щитов, то видами повреждений в них могут быть разработка посадочных мест под подшипники качения, подшипниковых букс, центрирующих заточек щита в станине, излом чугунного щита в месте отверстия прохода крепящего болта, трещина в чугунном щите.

Подшипниковые щиты в большинстве случаев выполнены из чугунного литья. Выработка посадочных мест иногда настолько значительна, что приводит у машин переменного тока (имеющих малый воздушный зазор) к затиранию железа ротора о железо статора и выходу из строя обмотки. Наиболее целесообразным методом восстановления посадочных мест является металлизация их, а затем расточка на токарном станке с определенным допуском. Попытки производить накатку посадочных мест не привели к положительным результатам (кратковременное улучшение, вызывающее в дальнейшем большую выработку посадочных мест).

Делают иногда «завтуливание» посадочных мест подшипников: растачивают гнездо под подшипник, в расточенное гнездо плотно вставляют стальную втулку, а затем ее растачивают под подшипник; втулку закрепляют в щите гужонами. Это трудоемкая работа, которая дает лишь временный эффект, так как при дальнейшей работе электродвигателя срабатывается и втулка, а последующее «завтуливание» ограничено диаметром ступицы и отверстиями для крепления фланцев.

Стальные щиты иногда пытаются наваривать электросваркой, а затем подваренные места растачивают на токарном станке под нужные диаметры. Однако при электросварке возможен перекос щита от температуры воздействий.

Следует учесть, что процесс металлизации несложен и освещен в нашей литературе достаточно широко. Металлизацию в настоящее время можно успешно применять на любом заводе, так как металлизатор выпускается нашей промышленностью. При разработке посадочных мест и центрирующей заточки щита на токарном станке производят снятие металла на глубину до 1—2 мм, металлизацию и дальнейшую обработку — до нужного диаметра. Все эти работы выполняют за одну установку. Центрируют щит по одной из сохранившейся точеной поверхности. Если обе поверхности изношены (посадочное место под подшипник и центрирующая заточка), то вначале восстанавливают посадочное место под подшипник, а затем по нему на токарном станке центрируют щит и восстанавливают центрирующую заточку.

Более совершенным методом восстановления посадочных мест подшипниковых щитов и шеек вала является точечный электроискровой способ, преимущества которого заключаются в том, что не требуется ни предварительная, ни последующая обработка деталей на токарном станке. Указанный процесс состоит в следующем: на шпиндель пневматической дрели закрепляют металлический диск (чугун); посредством щеткодержателя, закрепленного на корпусе дрели, через щетку подается провод от обмотки низкого напряжения сварочного трансформатора на диск, второй провод соответственно

подается на восстанавливаемую деталь. Подключается к воздушной магистрали дрель и вращающимся диском касается восстанавливаемой детали. При этом будет происходить точечный электронаплав до нужного размера. При выполнении этой работы необходимо соблюдать правила техники безопасности: пользоваться защитными очками, как при электросварке, резиновым ковриком и резиновыми перчатками.

Если в чугунном щите произошел излом по отверстию крепящего болта, отломанный кусок приваривают электросваркой, как указывалось выше. При утере отломанного куска такой изготавливают из стального листа, подгоняют по контурам излома и приваривают. Трещину в чугунном подшипниковом щите заваривают электросваркой таким же образом, как и лапу, но перед заваркой на обоих концах трещины просверливают отверстия диаметром 4—5 мм, чтобы предохранить подшипниковый щит от удлинения трещины при производстве электросварки. Чтобы при электросварке не происходило коробления щита, щит следует заваривать после раскрепления болтами на станине и в таком положении оставить его после заварки на 24—48 ч для выравнивания внутренних напряжений, созданных при сварке. При наличии полного излома щита или многих изломов щит восстановлению не подлежит, а должен быть изготовлен вновь. Новый щит изготовляют из соответствующей чугунной отливки либо стальной заготовки, а щиты сложной конфигурации делают из стальных листов сварными. К таким щитам относятся: передний щит машины постоянного тока, передний щит фазного асинхронного двигателя.

Ремонт и замена валов

В эксплуатации часты случаи излома валов электродвигателей и разработки посадочных мест. При изломе валов с вала необходимо снять подшипники, старый вал выпрессовать (рис. 59) и выточить новый. Изготовление нового вала состоит из следующих операций: протачивают по заданным размерам посадочное место под активное железо (остальные части вала протачивают с большими плюсовыми допусками), прорезают шпоночный паз и на вал напрессовывают активное железо. На токарный станок устанавливают вал с активным железом и центрируют по активному железу, затем остальные части вала протачивают по чертежу. Следует отметить, что изготовление нового вала с большими плюсовыми допусками (кроме посадочного места под активное железо) делают для того, чтобы учесть возможный изгиб вала при запрессовке и исключить его последующей проточкой по размерам чертежа. Перед выпрессовкой вала из фазного ротора следует контактную головку распаять от обмотки и снять; обмотку не нужно вынимать из пазов, у роторов вал выпрессовывают в сторону контактных колец и обмотка почти всегда сохраняется. Если при запрессовке вала повреждается обмотка, то смену обмотки или ее ремонт производят уже после запрессовки нового вала в активное железо.

У якорей смену валов делают при наличии обмотки и ее связи с коллектором. Есть типы машин постоянного тока, у которых активное железо дополнительно фиксируется на валу кольцевой шпонкой со стороны коллектора, а вал выпрессовывают в сторону, противоположную коллектору; в этом случае необходимо распаять петушки и снять коллектор, концы обмотки приподнять, вынуть кольцевую шпонку из вала, а затем выпрессовать вал. У якорей так же, как и у фазных роторов, в случае повреждения обмоток при выпрессовке и запрессовке вала замену обмотки или ее ремонт делают при запрессованном новом вале.

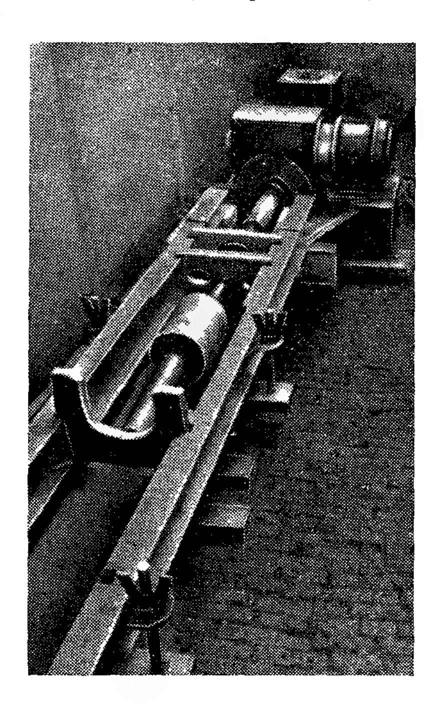


Рис. 59. Приспособление для выпрессовки и запрессовки валов у электродвигателей мощностью до 25 квт

Выпрессовку и запрессовку вала необходимо делать при наличии в пазах обмотки, так как в противном случае активное железо может рассыпаться и набор его на вал будет затруднен. Если шпоночный паз на конце вала разработался, то его можно расширить на 2—4 мм, изготовить новую ступенчатую шпонку. Иногда поступают и так: по необходимым размерам делают медную шпонку, вставляют ее в паз и там закрепляют, оставшиеся разработанные боковые места заваривают электросваркой, медную шпонку выбрасывают, подваренный шпоночный паз механически зачищают. При невозможности ремонта шпоночного паза на валу прорезают новый шпоночный паз под углом 90° к старому. Прорезку шпоночных пазов делают фрезой либо на строгальном станке; в этом случае вначале для выхода резца просверливают в концах будущего паза отверстия диаметром, равным ширине паза.

Кроме рассмотренных выше дефектов валов, могут быть и другие, как-то: сорвана резьба на конце вала для крепления полумуфты, ослаблены посадочные шейки под подшипники качения, имеются задиры поверхности шеек скольжения, конец вала ослаблен под полумуфтой, согнут конец вала, активное железо ротора или якоря ослабло на валу.

При повреждении резьбы на конце вала стачивают старую резьбу и нарезают новую на один размер меньше или старую резьбу наплавляют электросваркой, протачивают и нарезают такую же новую.

При ослаблении посадочных мест под нижние обоймы подшипников в первый раз можно произвести накатку шейки, а второй раз (и это лучше) металлизировать шейки, а затем протачивать.

Если на поверхности шеек скольжения имеются задиры, которые нельзя удалить шлифовкой шеек, то шейки протачивают до удаления задиров и шлифуют: подшипники перезаливают и протачивают.

От частого стягивания и насаживания на концы валов полумуфт может быть ослаблен конец вала, диаметр его стал меньше стандартного. Здесь методом металлизации с последующей проточкой можно восстановить диаметр конца вала.

Небрежная эксплуатация электромашины может привести к изгибу конца вала. Это явление чаще наблюдается у малых электромашин. Такое повреждение исправляют на токарных станках или гидравлических прессах, у более крупных электромашин (на стойках вал поворачивают изгибом кверху и штоком выпрямляют его).

Встречаются случаи ослабления активного железа на валу. Тогда проявляются обрывы выводов обмотки на кольца ротора или обрывы обмотки у петушков якоря. Вал в этом случае нужно выпрессовать, поверхность вала под активное железо металлизировать и проточить, а после запрессовать активное железо.

На практике иногда пытаются исправить дефекты вала наплавлением металла на вал электросваркой. Такой метод часто приводит к излому вала особенно в местах сопряжения разных диаметров. Это явление объясняется тем, что при нагреве металла вала электросваркой возникают внутренние термические напряжения и изменяется структура металла, металл становится хрупким. Соответствующей термообработкой эти напряжения в металле можно снять, однако это невозможно сделать у роторов и якорей, несущих активное железо, коллектор и обмотку. Самыми практическими, удобными и вполне безопасными способами исправления дефектов вала являются металлизация и электронаплав, которыми следует повседневно пользоваться при ремонтах.

Уплотнение активного железа статора в корпусе

Встречаются случаи, когда ослабевает напряженная посадка активного железа статора в корпусе и активное железо вызывает затирание (при малых воздушных зазорах) о ротор. В результате затирания происходит перемещение зубцов, пробой обмотки на корпус и витковые замыкания. В таких случаях нужно вынуть кольцевую шпонку, закрепляющую статор в корпусе, и выпрессовать активное железо, не разматывая обмотки. Если слабина железа обнаружена после размотки обмотки, вставляют в четыре паза по диагонали стальные шпильки и гайками стягивают активное железо, а затем железо извлекают из корпуса. Делают замеры — насколько ослабленс активное железо. Из стального листа толщиной, равной половине величины ослабления, вырезают полосы шириной 20—50 мм и длиной на 100 мм больше длины железа статора. Корпус нагревают в сушильной камере до 200° С. Нарезанные полосы равномерно вкладывают в расточку корпуса и запрессовывают

активное железо. После остывания корпус плотно охватывает расклиненное железо. Количество полос должно быть порядка 6—8. Выступающие концы полос обрубают и кольцевую шпонку вставляют на место.

Проверка активной стали на нагрев

В результате эксплуатации электрических машин по различным причинам (старение изоляции между листами, длительный перегрев, механические затирания, выгорание обмотки с привариванием меди к магнитопроводу, ослабление крепления крайних листов и распушивание магнитопровода и т. д.) возможны замыкания между пластинами активной стали. Под действием явления перемагничивания (гистерезис) и вихревых токов места замыкания будут нагреваться, что неизбежно приведет к выходу из строя обмотки электродвигателя.

Поэтому при ремонте электродвигателей необходимо провести проверку активной стали на нагрев в следующих случаях:

1) при обследовании электродвигателей, подлежащих ремонту, в целях определения объема ремонтных работ, если магнитопровод в работе перегревался;

2) при ремонте магнитопровода: перепрессовке стали из корпуса (двигатели сварочных машин), очистке пазов от наплывов меди, рихтовке пазов;

3) при наличии местных перегревов магнитопровода.

Испытание стали на нагрев осуществляют индукционным методом при вынутом роторе. Для намагничивающей обмотки можно применить провод марки ПРГ или ПР. Перед подачей напряжения на обмотку корпус статора обязательно заземлить. Число витков намагничивающей обмотки определяют по формуле

$$w_1 = \frac{45U_1}{Q_a},$$

где U_1 — напряжение, прикладываемое при испытании к зажимам намагничивающей обмотки, в;

Q_a — поперечное сечение спинки статора, см^2,

$$Q_a = (l - n_к l_к)\left(\frac{D_a - D_i}{2} - h_z\right) K_{ст},$$

здесь D_a — диаметр наружный, см;

D_i — диаметр расточки, см;

$K_{ст}$ — коэффициент, 0,9 — для электротехнической стали, оклеенной бумагой; 0,95 — для лакированной стали;

$l_к$ — длина вентиляционного канала, см;

$n_к$ — число вентиляционных каналов;

l — длина сердечника статора, см;

h_z — высота зубца, см.

Размеры D_a, D_i, l, $l_к$ и h_z определяют путем замера.

Силу тока намагничивающей обмотки для создания в магнитопроводе индукции в 10 000 гс определяют по формуле

$$I = \frac{3,3\,(D_a - h_a)}{w} H,$$

где h_a — высота спинки, см;

H — напряженность магнитного поля, которая равна $5 \div 6,5$ ав/см.

Сечение провода намагничивающей обмотки выбирают по допустимой плотности тока. Величину мощности намагничивающей обмотки при испытании определяют по формуле

$$P = \frac{IU}{1000}\ \textit{ква}.$$

Питание намагничивающей обмотки следует осуществлять от потенциал-регулятора, поднимая напряжение с нуля. После 10—15 мин испытания нужно снять напряжение и проверить нагрев магнитопровода по всей расточке статора. При проверке определятся горячие и холодные места, в них следует установить термометры и затем продолжить испытания. Продолжительность прогрева магнитопровода составляет 50—60 мин. Испытание нужно прекратить, если температура в какой-либо точке достигнет 100° С.

Если в течение всего нагрева максимальное превышение температуры стали не превзойдет 45 град, а температура отдельных зубцов не будет разниться между собой больше чем на 20 град, следует считать активную сталь исправной.

Дефектировка и замена подшипников

В настоящее время только крупные электромашины мощностью более 500 квт имеют подшипники скольжения, на всех остальных электромашинах установлены подшипники качения — шариковые или роликовые. Подшипники являются наиболее ответственной деталью электромашины, и повреждение их может привести к крупной аварии. Поэтому в эксплуатации осуществляется постоянный надзор за состоянием подшипников: определение температуры нагрева по контактным термометрам и прощупыванием, прослушивание подшипника в работе, осмотр масляных ванн и смазочных колец, проверка состояния масла. В основном подшипники скольжения представляют собой чугунные втулки или разъемные вкладыши из двух половин, залитые баббитом. Подшипники скольжения подлежат тщательному осмотру при всех средних ремонтах и в случае обнаружения ненормальностей их в работе. Осматривают состояние трущихся поверхностей и торцов, делают замеры оттиском зазоров между шейкой вала и вкладышем у разъемных подшипников и щупом у подшипников втулочного типа, определяют целость заливки и отсутствие отлипания заливки от корпуса подшипника, сохранность маслораспределительных канавок (холодильников).

Допустимые зазоры между баббитовой поверхностью и шейкой вала приведены в табл. 14.

Таблица 14

ДОПУСТИМЫЕ РАДИАЛЬНЫЕ ЗАЗОРЫ В ОПОРНЫХ ПОДШИПНИКАХ СКОЛЬЖЕНИЯ С КОЛЬЦЕВОЙ СМАЗКОЙ

Диаметр шейки вала, *мм*	Верхний зазор (*мм*) при скорости вращения, *об/мин*	
	менее 1000	1000 и более
18—30	0,040—0,093	0,060—0,118
30—50	0,050—0,112	0,075—0,142
50—80	0,065—0,135	0,095—0,175
80—120	0,080—0,160	0,120—0,210
120—180	0,100—0,195	0,150—0,250
180—260	0,120—0,225	0,180—0,295

Примечание. Зазоры относятся к новым подшипникам электромашин нормального исполнения.

В случаях выработки подшипников с баббитовой заливкой выше допустимых размеров производят перезаливку их. У подшипников с бронзовыми вкладышами при выработке рабочей поверхности можно произвести восстановительный ремонт, так как конфигурация их сложна. Восстановительный ремонт заключается в следующем: плоскости в местах разъема вкладышей прострагивают на строгальном станке на глубину 0,5—2 мм каждый, вкладыши попарно собирают и места разъемов по концам временно сваривают; так как наружный диаметр подшипника уменьшился, его размер восстанавливают автогенной наваркой латуни, а затем на токарном станке растачивают внутренний и протачивают наружный диаметры до необходимых размеров, место временной сварки двух половин зачищают и подшипник разделяют на две части, маслораспределительные канавки восстанавливают. Осевой разбег у подшипников скольжения допускают от 2 до 4 мм. Подшипники скольжения нормально работают при температуре, не превышающей 80° С, а подшипники качения 95° С. При увеличении температуры диаметр шарика или ролика

Таблица 15

ВЕЛИЧИНА МАКСИМАЛЬНО ДОПУСТИМЫХ ЗАЗОРОВ В ОПОРНЫХ ПОДШИПНИКАХ КАЧЕНИЯ

Внутренний диаметр подшипника *мм*	Радиальные зазоры, *мм*		
	в новых шарикоподшипниках	в новых роликоподшипниках	максимально допустимые при износе подшипников
20—30	0,01—0,02	0,03—0,05	0,1
35—50	0,01—0,02	0,05—0,07	0,2
55—80	0,01—0,02	0,06—0,08	0,2
85—120	0,02—0,03	0,08—0,10	0,3
130—150	0,02—0,04	0,10—0,12	0,3

увеличивается и может произойти заклинивание подшипника и его выход из строя. Годность подшипника определяют замером щупом зазора между телами качения (шариком или роликом и верхней обоймой). В случае превышения размеров зазоров, указанных в табл. 15, подшипники заменяют.

При ремонтах электромашины подшипники промывают керосином и от руки проворачивают, при этом по звуку определяют качество

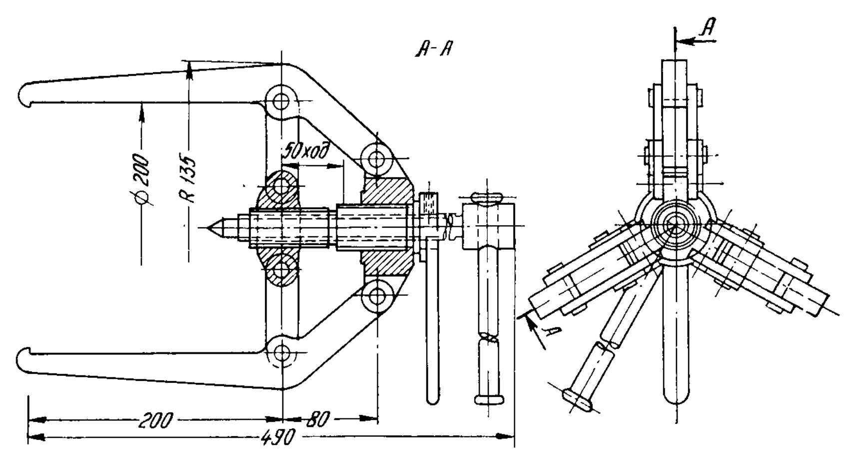


Рис. 60. Приспособление для съема подшипников качения с вала электродвигателя

подшипника. Если на беговой дорожке имеются выбоины или царапины, то при прокручивании подшипников будет слышен стук. Негодные подшипники стягивают с вала при помощи специальных съемников (рис. 60). Внутренние обоймы роликовых подшипников снимают после подогрева их электромагнитом. Посадку новых шариковых подшипников или нижней обоймы роликовых подшипников производят после подогрева их до 80°С в масляных ваннах.

ГЛАВА V

ИСПЫТАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН ПРИ РЕМОНТЕ

1. ОБЪЕМ ИСПЫТАНИЯ

Надежная работа электрических машин может быть обеспечена только при условии регулярного проведения осмотров, планово-предупредительного, текущего и капитального ремонтов. Во время ремонтов все электрические машины подвергают контрольным проверкам и испытаниям. Целью проверок и испытаний является определение объема ремонта, контроль его качества, точное нахождение места повреждения, сокращение срока ремонта.

Повышение качества ремонта и снижение его себестоимости могут быть достигнуты правильной организацией проверок и испытаний на всех ремонтных стадиях. Проводить испытания удобно на специальной испытательной станции. Испытания машин большой мощности производят непосредственно на месте установки двигателя.

В объем испытания и проверок электрических машин входят:

1) наружный осмотр для выявления видимых дефектов;

2) измерение сопротивления изоляции обмоток статора, ротора, термодетектора и подшипников;

3) измерение токов утечки при испытании повышенным выпрямленным напряжением;

4) испытание изоляции обмоток повышенным напряжением промышленной частоты;

5) измерение сопротивления обмоток постоянному току;

6) снятие характеристик холостого хода;

7) проверка правильности сборки двигателя (измерение зазоров, вибраций и др.).

Объем необходимых испытаний зависит от номинальных величин мощности и напряжения машины.

У генераторов и двигателей мощностью менее 1000 ква и напряжением выше 1000 в не снимают характеристики холостого хода. Машины напряжением до 1000 в, независимо от мощности, испытывают только по п.п. 1, 2, 4, 5, измеряют зазоры и вибрацию.

2. НАРУЖНЫЙ ОСМОТР И ПРОВЕРКА СОСТОЯНИЯ ИЗОЛЯЦИИ

Целью внешнего осмотра является проверка состояния узлов и деталей электромашин (корпус, подшипники, щитки с зажимами, щетки, щеточный аппарат, кольца и др.).

При осмотре проверяют прочность всех болтовых креплений, наружный вид изоляции лобовых частей обмоток, осматривают концы вала, шпоночные канавки, проверяют состояние контактных колец, покровного слоя лака на обмотке.

Перед испытанием требуется ознакомиться с заводским паспортом, в котором указываются номинальные технические данные электромашины (тип, род тока, мощность, напряжение, сила тока, число оборотов в минуту).

После наружного осмотра проверяют схему соединения обмоток статора (звезда, треугольник), а также маркировку фаз. Наружный осмотр и проверку состояния изоляции производят немедленно при поступлении электромашины в ремонт, чтобы иметь возможность своевременно устранить дефекты изоляции обмоток, если они будут обнаружены. Сопротивление изоляции обмоток статора при номинальном напряжении выше 1000 в измеряют мегомметром 2500 в, обмоток ротора — мегомметром 500—1000 в, а термодетекторов — мегомметром 250 в. Все измерения производятся при температуре не ниже 10° С.

При измерении сопротивления изоляции крупных электромашин рекомендуется применять мегомметры с электроприводом или с выпрямительной приставкой.

После измерения сопротивления изоляции для безопасности обслуживающего персонала снимают заряд с обмоток путем наложения переносной заземляющей штанги или защитного заземления.

Согласно ГОСТ 183—66 сопротивление изоляции рабочих обмоток электрической машины должно быть не менее значения, получаемого по формуле

$$R_{60^\circ} = \frac{U}{1000 + 0{,}01P_н} \text{ Мом},$$

где U — номинальное напряжение обмотки, в;

$P_н$ — номинальная мощность, ква.

Минимальные допустимые для статорных обмоток электромашин переменного тока величины сопротивления изоляции при температуре обмотки 20° С в зависимости от мощности машины, скорости вращения ротора и номинального напряжения можно определить по номограмме, приведенной на рис. 61. Если сопротивление изоляции меньше нормы, обмотки машины после ремонта подвергают сушке.

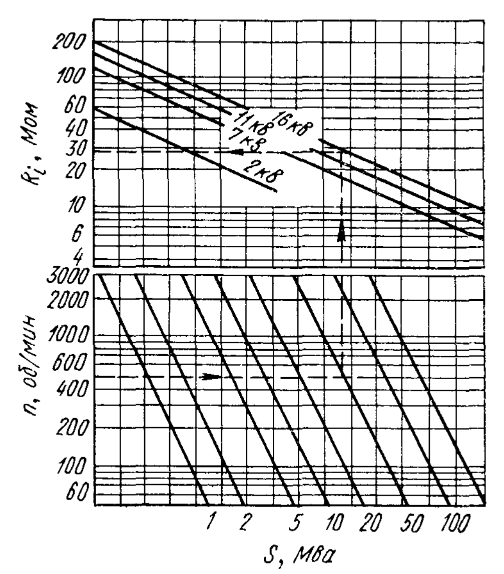


Рис. 61. Номограмма значений сопротивления изоляции обмоток

Для обмоток ротора крупных генераторов величины сопротивления изоляции должны быть не менее 0,5 Мом.

Для обмоток якорей и обмоток возбуждения машин постоянного тока большой мощности напряжением до 1000 в сопротивление изоляции должно быть не менее 2 Мом.

3. ИСПЫТАНИЕ ИЗОЛЯЦИИ ОБМОТОК ПОВЫШЕННЫМ НАПРЯЖЕНИЕМ

Испытание изоляции обмоток повышенным напряжением производят лишь после измерения сопротивления изоляции мегомметром и получения при этом удовлетворительных результатов.

Сопротивление изоляции цепей возбуждения генератора и возбудителя с присоединенной к ней аппаратурой должно быть не менее 1 Мом при измерении мегомметром 1000 или 500 в, а сопротивление изоляции обмотки возбудителя и подвозбудителя — не менее 0,5 Мом при температуре 20° С ± 10 град.

Мегомметром 1000 в измеряют сопротивление изоляции подшипников генератора и возбудителя относительно фундаментной плиты

при полностью собранном маслопроводе, величина сопротивления изоляции — не менее 1 Мом.

Испытание изоляции обмоток статора повышенным выпрямленным напряжением.

После ремонта это испытание проводят с целью выявления оставшихся местных дефектов в изоляции.

Выпрямленное напряжение необходимой величины подводят к каждой фазе или ветви в отдельности при закороченных и соединенных с заземленным корпусом других обмотках или ветвях (рис. 62). Для испытания используют кенотронный аппарат АИИ-70. Напряжение подают ступенями и выдерживают на каждой ступени в течение 1 мин, измеряя при этом величины тока утечки через 15 и 60 сек, после чего плавно поднимают напряжение до величины следующей ступени.

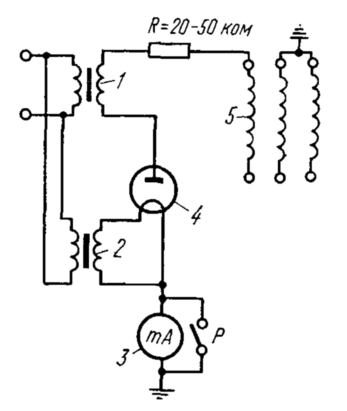


Рис. 62. Схема испытания машины повышенным выпрямленным напряжением:

1 — испытательный трансформатор; 2 — трансформатор накала; 3 — миллиамперметр; 4 — выпрямительная лампа; 5 — испытуемая обмотка

Ступени испытательных напряжений выпрямленного тока, *кв*:

Номинальное напряжение машины, кв	
3	1,5; 3; 4; 5; 6 и 7,5
6	3; 6; 9; 12 и 15
10—20	5; 10; 15; 20 и 25

Максимальная величина испытательного выпрямленного напряжения зависит от номинального напряжения машины и определяется по формулам:

для машины мощностью до 1000 ква всех напряжений и более 1000 ква при напряжении до 3300 в.

$$U_{\text{исп. выпр}} = 1{,}2\,(2U_{\text{ном}} + 1000)\ \text{в};$$

для машин мощностью 1000 ква и более при напряжении выше 3300 в до 6600 в включительно

$$U_{\text{исп. выпр}} = 1{,}2 \cdot 2{,}5U_{\text{ном}}\ \text{в};$$

для машин мощностью 1000 ква и более напряжением свыше 6600 в

$$U_{\text{исп. выпр}} = 1{,}15\,(2U_{\text{ном}} + 3000)\ \text{в}.$$

При испытании повышенным напряжением выпрямленного тока не должно наблюдаться резкого броска тока утечки.

Если наблюдается резкий рост величины тока утечки или колебание ее, изоляция машины неисправна. Тогда рекомендуется продолжать испытание до прожига, чтобы четко определить место повреждения.

При исправной изоляции величины тока утечки по фазам мало отличаются друг от друга.

После испытания выпрямленным напряжением или перед изменением схемы испытуемую обмотку заземляют.

Испытание повышенным напряжением переменного тока. Испытание повышенным напряжением переменного тока проводят после ремонта обязательно, независимо от того, производились или нет испытания выпрямленным напряжением.

Но у машин, для которых испытание выпрямленным напряжением обязательно, испытание повышенным напряжением переменного тока проводят только после удовлетворительных результатов испытаний выпрямленным напряжением.

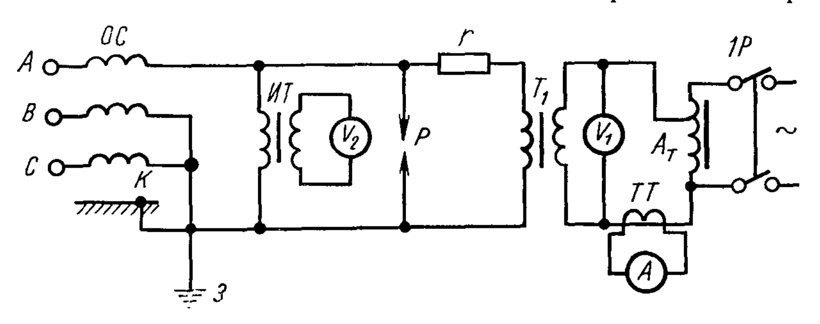


Рис. 63. Схема испытания обмоток машины повышенным напряжением переменного тока:

ОС — обмотка статора; *ИТ* — измерительный трансформатор; *Р* — разрядник, *r* — ограничивающее сопротивление 20—50 ком; T_1 — испытательный трансформатор; $A_т$ — регулировочное устройство; V_1, V_2 — вольтметры; *А* — амперметр; *ТТ* — трансформатор тока; *1Р* — рубильник; *З* — земля

Для испытания повышенным напряжением собирают схему, приведенную на рис. 63.

Испытания производят для каждой фазы или ветви относительно других фаз и ветвей, закороченных и соединенных с заземленным корпусом машины.

Обмотку статора машин напряжением до 400 в и мощностью до 40 квт испытывают напряжением 1000 в; у машин мощностью 40 квт и более величина испытательного напряжения зависит от номинального напряжения и составляет:

Номинальное напряжение не более, в	400	500	600	2000	3000	6 000	10 000
Испытательное напряжение, в	1000	1500	1700	4000	5000	10 000	16 000

Изоляцию обмотки ротора у синхронных электродвигателей испытывают во время ремонта напряжением 1000 в, а обмоток электродвигателей с фазным ротором напряжением $1{,}5U_р$ (где $U_р$ — величина напряжения на кольцах при разомкнутом неподвижном роторе и полном напряжении статора) или $6U_{ном}$ возбуждения генератора, но не менее 1000 в.

Время приложения напряжения во всех случаях 1 мин. Испытательное напряжение поднимают плавно со скоростью не более 1 кв/сек. В случае пробоя изоляции необходимо определить место повреждения. Это достигается повторным прикладыванием напряжения до появления дыма или искры в поврежденном месте.

4. ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ОБМОТОК ПОСТОЯННОМУ ТОКУ

Сопротивление постоянному току обмоток статора и ротора электромашин измеряют в целях проверки целостности обмотки, например из-за нарушения соединений в местах паек, а также для получения исходных данных, необходимых при определении температуры обмотки по ее сопротивлению.

Для измерения лучше всего применять двойной мост. При отсутствии моста можно использовать схему измерения методом амперметра — вольтметра (рис. 64).

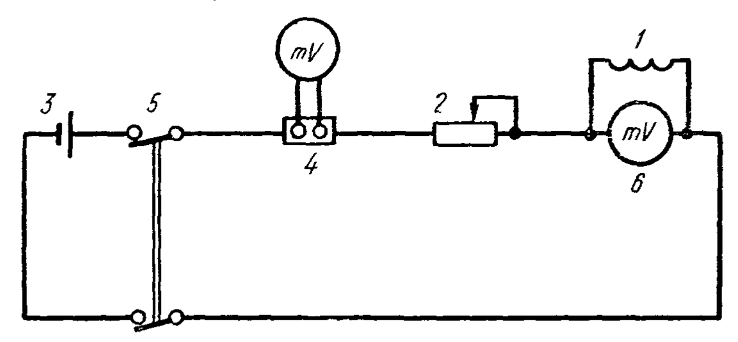


Рис. 64. Схема измерения сопротивления постоянному току методом амперметра—вольтметра:

1 — обмотка; 2 — регулировочный реостат; 3 — аккумуляторная батарея; 4 — шунт; 5 — рубильник; 6 — милливольтметр

При измерениях сопротивления постоянному току обмоток крупных машин (генераторов) из-за большой их индуктивности ток устанавливается не сразу и требуется время для полного успокоения стрелки приборов.

Удобно пользоваться для измерения падения напряжения на выводах обмотки щупами (касаясь ими выводов лишь в момент измерения). Поскольку сопротивление обмотки зависит от температуры, при измерении сопротивления постоянному току следует измерять температуру обмоток. За температуру обмотки принимают среднюю арифметическую из четырех температур, измеренных термометрами в четырех точках статора или ротора (по длине машины). За сопротивление обмоток постоянному току принимается среднее из двух—трех измерений. Измеренные величины сопротивления по фазам обмотки не должны отличаться друг от друга более чем на 2% и по отдельным параллельным ветвям не более чем на 5%. Результаты измерений не должны, кроме того, отличаться от результатов пре-

дыдущих измерений (в том числе заводских) более чем на 2%, приведенных к одним и тем же условиям, за исключением случаев, обусловленных изменением сечения обмоточного провода или схемой соединения при ремонте.

При измерении сопротивления обмотки якоря и возбудителя между коллекторными пластинами величины сопротивлений не должны отличаться более чем на 10%. Эта разница может быть больше, если она обусловлена схемой соединения.

Также на 10% могут отличаться величины измеренных сопротивлений гашения поля, реостатов возбуждения, заземляющих сопротивлений. Если измеренные величины сопротивления больше допустимых нормами, это означает наличие какого-либо повреждения.

Повреждения чаще всего бывают из-за плохой пайки в лобовых частях обмотки статора или в проводах обмотки ротора. Для установления причины повышения сопротивления производят прогрев обмоток статора током от постороннего источника. После отключения боковые соединения прощупывают и по местному нагреву обнаруживают неисправности.

У обмоток ротора производят ревизию токопроводов с измерением сопротивления постоянному току по отдельным участкам. Для оценки и сравнения измеренные величины сопротивления постоянному току должны быть обязательно приведены к одной температуре.

5. ИСПЫТАНИЕ КОЛЛЕКТОРА И ОБМОТОК ЯКОРЯ МАШИНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

В процессе ремонта машины постоянного тока проводят испытание коллектора повышенным напряжением после удаления обмотки. Перед испытанием коллектор очищают от грязи, наплывов металла, продораживают между пластинами.

Испытание коллектора повышенным напряжением производят относительно корпуса. Продолжительность испытания 1 мин. Величины испытательного напряжения зависят от номинального напряжения машины и приведены ниже:

Номинальное напряжение машины не более, в	150	400	700	1500	3000
Испытательное напряжение, кв	2,5	3	4,5	5,5	9,5

После испытания повышенным напряжением проверяют отсутствие замыкания между отдельными коллекторными пластинами путем прикладывания напряжения 220 в переменного тока на каждую пару соседних пластин посредством щупов с изолированными рукоятками. Для контроля и ограничения силы тока короткого замыкания последовательно щупам и пластинам включают электрическую лампочку на напряжение 220 в. При наличии замыкания между пластинами в момент прикладывания напряжения лампочка

будет светиться. При отсутствии замыкания лампочка будет темная. Напряжение прикладывается в течение 2 сек.

В процессе перемотки обмотки и пайки петушков могут быть замкнуты витки, некачественно выполнена пайка. Отсутствие замыканий и обрывов в секциях, а также качество паек может быть проверено путем замера сопротивления постоянному току каждой секции. Для этого к соседним пластинам посредством двойных (спаренных) щупов подводится напряжение постоянного тока, одновременно с этих же пластин снимается падение напряжения. На каждом щупе имеется две иглы, одна из которых подключена к источнику питания, вторая к милливольтметру. При обходе по коллектору показания милливольтметра должны быть почти одинаковы (разница не должна превышать 5—10%). В случае очень большой величины одного или нескольких сопротивлений сравнительно с другими возможны либо некачественная пайка, либо обрывы. При очень малых по отношению к другим замерам сопротивлений в обмотке возможно наличие короткозамкнутых секций.

Для быстрого определения замыканий и обрывов в обмотках, выполненных без уравнительных соединений, пользуются седлообразным электромагнитом. Электромагнит охватывает активное железо якоря. На обмотку электромагнита подается напряжение переменного тока, магнитный поток наводит в обмотке якоря э. д. с. При отсутствии замыкания в обмотке якоря приложенная к пазам стальная пластина не притянется. В случае замкнутых секций стальная пластина притянется, обмотка якоря нагреется. Если обмотка выполнена доброкачественно, то при питании катушки электромагнита переменным током и замыкании соседних коллекторных пластин стальной пластинкой появится интенсивная искра. Отсутствие искры между закорачиваемыми пластинами указывает на наличие в обмотке обрывов или короткозамкнутых витков. В случае намотки обмотки с неправильным шагом по коллектору искра будет едва заметной, несмотря на то, что измеренные сопротивления секций будут равны. Собранная машина с таким якорем работать не будет (якорь не развернется).

Измерение сопротивления между соседними пластинами (при намотанной и запаянной обмотке) проще осуществлять с помощью микроомметра или двойного моста.

В случае замыкания обмотки якоря на корпус для определения места пробоя подают напряжение на вал и на коллектор через добавочное сопротивление (для ограничения силы тока). Если при этом стальная пластина, приложенная к пазам якоря, притянется, то замыкание произошло в обмотке, если пластина не притянется, то замыкание на корпус в коллекторе.

6. ИСПЫТАНИЕ ГЛАВНЫХ И ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ПОЛЮСОВ

У главных полюсов проверяют согласованность включения обмоток. Для этого используют импульсный метод или метод магнитной стрелки.

При импульсном методе (рис. 65) к началу одной из обмоток, например шунтовой ШО, подключают положительный полюс от источника постоянного тока низкого напряжения, а к началу другой обмотки — сериесной СО — положительный вывод гальванометра или милливольтметра; отрицательные полюса подсоединяют к другим концам обмоток. Если при кратковременном замыкании источника питания стрелка прибора отклонится вправо, то начало и конец обмоток обозначены правильно. Если этого нет, меняют местами полюса и снова проверяют согласованность включения обмоток. Так же проверяют начало и конец обмоток каждого полюса в отдельности.

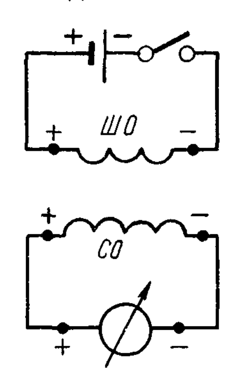


Рис. 65. Определение согласованности включения обмоток машин

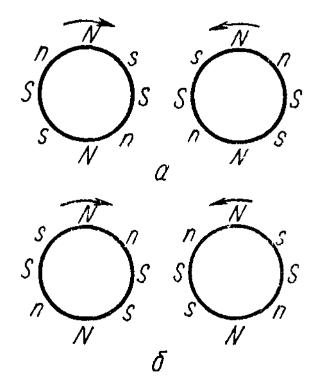


Рис. 66. Чередование главных и дополнительных полюсов при разных направлениях вращения генератора *а* и двигателя *б*

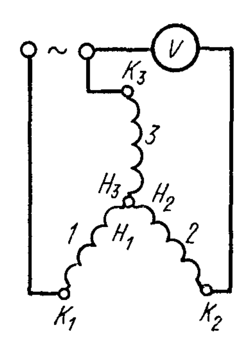


Рис. 67. Проверка маркировки выводов обмотки

При методе магнитной стрелки к началу обмоток через сопротивление подсоединяют один и тот же полюс источника напряжения, а к концу — другой. Замыкая цепь одной обмотки, подносят к полюсному наконечнику или к крепящему болту магнитную стрелку и запоминают ее отклонение (полярность), затем размыкают эту обмотку и закорачивают вторую. Если при этом отклонение стрелки не изменилось, обмотки включены согласно, т. е. их начало и конец обозначены правильно.

Правильность включения обмоток дополнительных полюсов проверяют методом магнитной стрелки. Для этого к обмоткам главных и дополнительных полюсов подводят напряжение от источника питания согласно схеме их включения и с помощью магнитной стрелки определяют полярность полюсов.

На рис. 66 показано правильное чередование главных и дополнительных полюсов при разных направлениях вращения для генератора и двигателя.

Как главные, так и дополнительные полюса должны между собой чередоваться таким образом, чтобы за северным полюсом следовал южный, а за южным — северный (или наоборот). В случае одноименной полярности двух соседних полюсов необходимо соответ-

ственно на одном из них изменить направления тока (на катушке поменять местами выводные концы).

Обмотки главных и дополнительных полюсов проверяют на отсутствие в них витковых замыканий. Для этого на обмотки главных или дополнительных полюсов поочередно подают напряжение переменного тока и на каждой катушке измеряют вольтметром падение напряжения. Падения напряжений на катушках главных или катушках дополнительных полюсов должны быть одинаковыми. В случае виткового замыкания в одной из катушек на ней будет меньшее падение напряжения. Катушка, имеющая замкнутые витки, нагреется.

При проверке обмоток последовательного возбуждения (и дополнительных полюсов) падение напряжения на катушках нужно измерять милливольтметром, так как оно имеет небольшую величину из-за небольшого числа витков. Так же, как и при проверке полярности, в схеме последовательно обмоткам включают добавочное сопротивление для ограничения величины тока.

7. ИСПЫТАНИЕ ОБМОТОК СТАТОРА И ФАЗНОГО РОТОРА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Обмотки статора трехфазных асинхронных электродвигателей после их ремонта подвергают:

1) проверке маркировки выводов (определение «начала» и «конца» каждой фазы);

2) испытанию на отсутствие витковых замыканий;

3) испытанию на электрическую прочность изоляции.

Перед испытанием обмоток статора находят парные выводы каждой фазы путем прозвонки фаз мегомметром или при помощи пробника. При недоступном или собранном «нуле» правильность сборки обмоток двигателя можно проверить по схеме рис. 67. Если «звезда» собрана правильно, напряжение на свободных выводах (K_3—K_2 и K_1—K_2) оказывается равным. Та же картина повторится при подаче напряжения на другие выводы. В противном случае разбирают «нуль» и проверяют выводы следующими методами:

I. Соединяют между собой три начала или три конца обмоток (собирают искусственную «звезду»). На свободные концы подают переменное напряжение и измеряют вольтметром напряжение между началом и концом каждой фазы. Если измеренные величины напряжения одинаковы, выводы обмоток обозначены правильно, если же величины напряжения у фаз различны, надо поменять местами начало и конец той фазы, на которой падение напряжения наибольшее и произвести повторное измерение. Это наиболее простой способ маркировки выводов.

Начала обмоток обозначают H_1, H_2, H_3, концы обмоток — соответственно K_1, K_2 и K_3.

II. Последовательно соединяют обмотки двух фаз, объединяя между собой концы, помеченные условно бирками H_1 и H_2. К концам H_3 и K_3 третьей фазы подключают вольтметр или электрическую лам-

почку. На концы K_1 и K_2 первых двух фаз подают пониженное напряжение переменного тока, но не более 30—40% номинального. Если помеченные бирками концы соответствуют надписям, то стрелка вольтметра не отклонится, а электрическая лампочка не загорится. При несоответствии надписей действительной маркировке фаз вольтметр покажет напряжение, примерно равное приложенному, а электрическая лампочка будет гореть. В этом случае нужно поменять местами бирки на концах первой фазы и повторить испытание в той же последовательности (соединить по обозначениям H_1 и H_2). При этом проверяются одноименные выводы обмоток *1* и *2*.

Для проверки выводов третьей обмотки опыт повторяют, проверяя соответствие выводов, например обмоток 1-й и 3-й. Измеряют соединения выводов по фазам и подключают вольтметр на фазу *2*.

Испытание обмотки на витковое замыкание осуществляют повышенным на 30% от номинального напряжением в течение 5 мин. При этом замеряют силу тока в каждой фазе и падение напряжения. Напряжения (и силы токов) по фазам должны быть соответственно равны между собой. В случае виткового замыкания в одной из фаз сила тока в ней возрастет, а падение напряжения, наоборот, будет меньше по сравнению с другими фазами.

Испытание изоляции обмоток статора высоким напряжением проводят поочередно по схеме: каждая фаза по отношению к двум другим, соединенным с корпусом. Величина испытательного напряжения приведена выше, продолжительность испытания 1 мин. Изоляция выдержала испытание, если не произошло пробоя ее в течение всего времени приложения напряжения и не наблюдалось никаких перекрытий по ее поверхности.

8. ПРИЕМО-СДАТОЧНЫЕ ИСПЫТАНИЯ МАШИНЫ ПОСЛЕ РЕМОНТА

Осмотр и проверка механической сборки электромашины. При осмотре машины прежде всего нужно обращать внимание на состояние подъемных колец как съемных, так и литых. В случае обнаружения повреждения должны быть решены вопросы об их пригодности к дальнейшей эксплуатации.

Подшипниковые щиты должны быть плотно прижаты к корпусу двигателя. Болты, прижимающие эти щиты, должны иметь головки одинакового размера и несбитые грани. Под головкой болта должна быть разрезная пружинная шайба.

Подшипниковые крышки должны плотно прилегать своими плоскостями к щиту, гайки или винты должны быть затянуты и обязательно застопорены при помощи фигурных шайб. Все болты, крепящие детали к станине, должны быть проверены на плотность затяжки легкими ударами молотка по боковой поверхности головки.

Люковые крышки проверяются на плотность прилегания, наличие уплотняющей прокладки и исправность замков. Выводы обмоток должны иметь исправную изоляцию, через корпус проходить во втулках, а на концах иметь напаянные наконечники. У мелких машин

допускаются луженые кольца из того же провода. На выводных концах обмоток должны быть бирки с маркировкой. Проверяют наличие и четкость надписей на таблице-паспорте электромашины.

Осмотр выступающих концов вала. Конец вала, на который насаживается шкив, шестерня и полумуфта, должен иметь гладкую поверхность без вмятин, шпонка вала должна быть исправна и плотно сидеть в шпоночной канавке вала. Резьба конца вала не должна иметь забоин и дефектных ниток.

Проверка и осмотр вентиляторов. Проверку вентиляторов осуществляют ремонтные работники в процессе ремонта машины и делают отметку в ремонтной карте. Если вентилятор доступен для осмотра, то при контрольном испытании машины осматривают надежность крепления лопаток, а также плотность посадки вентилятора на валу.

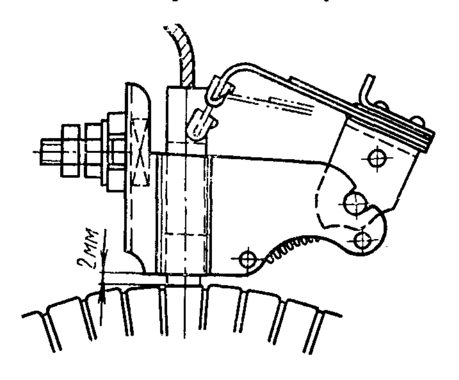


Рис. 68. Схема коллектора и щеткодержателя

Осмотр щеточного аппарата. Траверса щеткодержателей должна закрепляться на буксе щита, фиксироваться болтом, а при необходимости передвижения ее свободно перемещаться в обе стороны после отжатия винтов. Пальцы, на которых закреплены щеткодержатели, должны быть плотно укреплены в своих гнездах хомутиками, и изоляция их должна быть исправной.

Щеткодержатели должны быть зажаты на пальце и отрегулированы так, чтобы расстояние от нижней части его обоймы до коллектора было равно 2—4 мм (рис. 68). Отклонение в величине расстояния по окружности коллектора между сбегающими краями щеток от среднего не должно превышать: для машин мощностью свыше 200 квт $\pm 0,5\%$; для машин мощностью до 200 квт $\pm 1,5\%$.

Если якорь машины имеет осевую игру, то установка щеткодержателей должна быть такой, чтобы при работе машины не могло быть задевания за петушки коллектора.

Удельное давление пружины на щетку определяется после любого ремонта и должно соответствовать давлению для данной марки щеток (по ГОСТ или ТУ). Давление (в граммах) проверяют динамометром. Отклонение давления между щетками на одном стержне не должно превышать $\pm 10\%$. Допускается увеличение удельного давления (г/см^2) на щетки крановых, тяговых и других машин, работающих в тяжелых режимах, на 50—75% против данных ГОСТа. Одновременное применение щеток разных марок недопустимо.

Каждая щетка должна быть притерта таким образом, чтобы вся ее рабочая поверхность касалась коллектора. На пружинах, непосредственно нажимающих на щетку, обязательно должен быть изолирующий наконечник. Питатель щетки должен быть надежно прижат винтом под наконечник.

При разомкнутом состоянии кольцо замыкателя должно стоять в крайнем положении и расстояние от петушков колец должно быть не менее 4—5 мм. Это положение кольца фиксируется, при этом пальцы вилки не должны касаться стенок кольца. Только во время перевода кольца из положения «Пуск» в положение «Работа» пальцы соприкасаются с кольцами. При замыкании петушков контактных колец кольцо короткозамыкателя должно замкнуть их все три одновременно. После окончательного замыкания пальцы вилки должны отойти от стенки кольца и стать в нейтральное положение. Кольцо в положении «Работа» должно фиксироваться.

Нечеткая работа короткозамыкателя всегда приводит к преждевременному износу роликов, подгоранию контактов и выходу из строя двигателя, поэтому все подвижные части замыкателя должны быть тщательно отревизованы и смазаны техническим вазелином. При проверке замыкания и размыкания колец ротор двигателя необходимо поворачивать. Поворачивая ротор, нужно проверить, не зацепляет ли ротор об обмотки или корпус статора, а также обратить внимание на плавность хода ротора.

Проверка зазора междужелезного пространства. При осмотре машины после ремонта необходимо проверить зазоры междужелезного пространства через окна в подшипниковых щитах. По величине зазоров можно сделать заключение о правильности сборки машины и ее пригодности к эксплуатации. Зазоры измеряют машинным щупом путем подбора такой толщины стальной пластины, которая без особого усилия проходит в зазор. Измерив зазоры в одном месте, вынимают щуп и поворачивают ротор или якорь на 90°, снова измеряют зазоры при повороте ротора или якоря на 180, 270, 360°.

Для машин переменного тока обычно измеряют зазоры в трех точках.

Для машин постоянного тока зазоры измеряют под каждым полюсом.

9. ПРОВЕРКА ПОЛОЖЕНИЯ ЩЕТОК И ПРАВИЛЬНОСТИ ВКЛЮЧЕНИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ПОЛЮСОВ

Перед включением электродвигателя в сеть для испытания на холостом ходу или под нагрузкой необходимо установить щетки в нейтральное положение и проверить правильность включения катушек дополнительных полюсов относительно якоря, что осуществляют двумя способами:

I. Ориентировочно щетки устанавливают на линии, проходящей через середину главных полюсов. К щеткам подключают чувствительный магнитоэлектрический прибор (желательно с нулем на середине шкалы). На обмотку главных полюсов подают импульсами от источника постоянного тока напряжением 6—8 в (рис. 69, *а*) ток величиной 5—10% величины номинального тока. Если щетки находятся в нейтральном положении, при подаче питания на обмотку главных полюсов стрелка прибора не будет отклоняться от нуля.

В случае отклонения стрелки прибора перемещают траверсу со щетками в ту или другую сторону до тех пор, пока при импульсном включении обмотки главных полюсов стрелка прибора не будет отклоняться. Это положение и будет нейтральным.

II. Обмотку возбуждения питают переменным током, якорь электромашины при неподвижных щетках поворачивают в одну или другую сторону и определяют величину и направление смещения щеток с нейтрали при помощи магнитоэлектрического прибора, подключенного к щеткам.

На рис. 69, *б* показана схема, используемая при применении данного способа с помощью автотрансформатора *1*. К обмотке возбуждения *2* машины подают переменный ток. К щеткам якоря *3* через

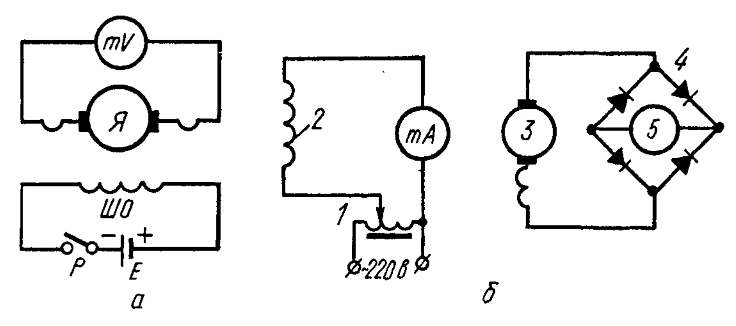


Рис. 69. Схема проверки установки щеток в нейтральное положение

выпрямитель *4* подключают магнитоэлектрический милливольтметр *5*. Поворачивая якорь *3* машины сначала в одну сторону, а затем в другую, замечают показания милливольтметра *5*. Направление поворота, при котором наблюдается уменьшение показания милливольтметра, есть направление смещения щеток с нейтрального положения. Для установки щеток в нейтральное положение их поворачивают в обратную сторону. Указанный способ упрощает процесс определения величины и направления смещения щеток с нейтрали.

Правильность включения катушек дополнительных полюсов проверяют следующим образом: на обмотку дополнительных полюсов, включенную последовательно с обмоткой якоря, подают питание от источника постоянного тока. Для регулирования величины силы тока, которая не должна превышать 20% от номинальной, последовательно включают добавочное сопротивление (рис. 70, *а*). На обмотку главных полюсов при этом питание не подается, она должна быть отключена.

После подачи питания в обмотки дополнительных полюсов и якоря смещают траверсу со щетками с нейтрального положения в какую-либо сторону на 15—20°, если при этом якорь начинает вращаться в ту же сторону, в какую смещена траверса со щетками, то дополнительные полюса включены правильно по отношению к обмотке якоря. Опыт повторяют два-три раза в обе стороны. Это справедливо для якорей, имеющих неперекрещивающуюся обмотку;

У якорей с перекрещивающейся обмоткой при правильном включении дополнительных полюсов якорь при смещении траверсы со щетками будет вращаться в противоположную смещению траверсы сторону.

В случае, когда траверса со щетками наглухо закреплена и поворот ее осуществить невозможно, правильность включения дополнительных полюсов проверяют другим методом. На включенные последовательно обмотки дополнительных полюсов и якоря подают напряжение переменного тока (рис. 70, *б*) и измеряют при помощи амперметра и вольтметра величину общего сопротивления. Правильным будет соединение, при котором величина общего сопротивления, измеренная на переменном токе, будет меньшей.

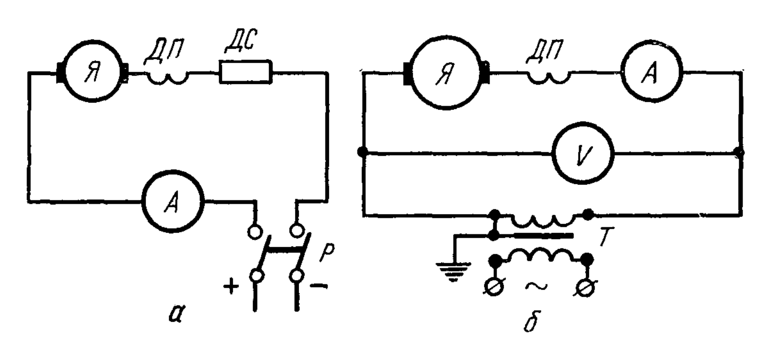


Рис. 70. Схема проверки правильности включения дополнительных полюсов

10. СНЯТИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ХОЛОСТОГО ХОДА

Характеристика холостого хода — это зависимость напряжения якоря генератора от силы тока возбуждения при постоянной номинальной скорости вращения и отсутствии нагрузки.

Снятие характеристики холостого хода генератора производят при вращении генератора приводным двигателем, подавая питание на обмотку возбуждения. Последовательно обмотке возбуждения включают реостат и амперметр. К выводам якоря подключают вольтметр (рис. 71). Через обмотку возбуждения пропускают ток такой величины, при которой напряжение на якоре достигает 130% номинального значения. Затем, снижая силу тока возбуждения, измеряют напряжение на якоре для каждого значения силы тока возбуждения. При этом силу тока возбуждения изменяют только в сторону уменьшения. Результаты измерения заносят в таблицу и по ним строят характеристику холостого хода.

Характеристику холостого хода снимают, как правило, при независимом возбуждении. При испытании электродвигателя постоянного тока с параллельным возбуждением на холостом ходу определяют наименьшую скорость вращения при подаче номинального

напряжения на обмотку якоря и на обмотку возбуждения, измеряют силу тока. Одновременно контролируют температуру подшипников.

Междувитковую изоляцию якоря испытывают подачей на выводы обмотки якоря напряжения по величине на 30% больше номинального в течение 5 мин. Число оборотов при этом не должно превышать 15% от номинальных.

При испытании электродвигателя с последовательным возбуждением запуск двигателя производят повышением напряжения с нуля, при этом необходимо следить за числом оборотов якоря, не допуская, чтобы оно превысило номинальную величину. Величина напряжения обычно не превышает 30% номинального.

Рис. 71. Схема опыта холостого хода

При запуске электродвигателя с параллельным возбуждением в случае, если якорь не может развернуться, необходимо подать номинальное напряжение на обмотку возбуждения от постороннего источника, а затем подать напряжение на обмотку якоря, увеличивая его величину с нуля постепенно. Если нет возможности питать обмотку возбуждения от постороннего источника, можно подать напряжение одновременно на обе обмотки, при этом последовательно якорю необходимо включить добавочное сопротивление. При наличии у генератора последовательной и параллельной обмотки возбуждения напряжение якоря при номинальной нагрузке должно возрасти не более чем на 5% от номинального.

В условиях небольших электроремонтных мастерских зачастую отсутствует нагрузочное устройство. В этом случае можно испытать электродвигатель с обмоткой параллельного возбуждения в генераторном режиме. Для этого в цепь обмотки возбуждения последовательно включают регулировочный реостат. При включении двигателя в сеть реостат должен быть выведен. После разгона двигателя реостат в цепи возбуждения должен быть быстро введен. За счет уменьшения силы тока возбуждения уменьшается магнитный поток, в результате чего число оборотов возрастает. При возрастании числа оборотов на 20—25% выше номинального сопротивление в цепи возбуждения быстро выводят. При этом величина магнитного потока возбуждения увеличивается до первоначальной, а число оборотов якоря продолжает оставаться выше номинального, в результате э. д. с. обмотки якоря становится выше приложенного напряжения сети. Двигатель переходит в режим генератора. Эта операция повторяется несколько раз.

Указанный способ можно осуществить при помощи контактора, включающего и отключающего сопротивление в цепи возбуждения. Переводя двигатель в режим генератора, необходимо контролировать искрение щеток, нагрев обмотки и скорость. Необходимо помнить, что чрезмерное ослабление поля возбуждения может привести к недопустимому увеличению скорости якоря.

11. ИСПЫТАНИЕ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Электродвигатель в собранном виде испытывают на холостом ходу путем подачи от потенциал-регулятора вначале пониженного по величине напряжения, затем — номинального. Первое включение электродвигателя после ремонта осуществляется с осторожностью, путем постепенного, если это возможно, подъема напряжения, так как при сборке могут быть допущены ошибки, которые могут привести к выходу из строя машины.

При испытании электродвигателя с фазным ротором необходим регулировочный реостат, который включают в цепь ротора. На холостом ходу замеряют силы тока в каждой фазе, число оборотов, температуру нагрева подшипников. Силы тока во всех фазах должны быть равны между собой. Величина тока холостого хода должна соответствовать техническому паспорту электродвигателя.

Увеличение силы тока холостого хода может быть вызвано следующими причинами: плохое состояние магнитопровода, активное железо ротора сдвинуто относительно активного железа статора, увеличенный воздушный зазор между железом ротора и статора, уменьшено число витков или схема обмотки имеет параллельное соединение катушек вместо последовательного, число полюсов статора и фазного ротора различно, обмотка статора намотана на более низкое напряжение.

При очень малой силе тока холостого хода по сравнению с нормальной следует проверить правильность соединения схемы обмотки, так как это показывает, что число витков в статоре явно увеличено. Такой электродвигатель будет иметь мощность ниже номинальной.

После работы электродвигателя в режиме холостого хода на номинальном напряжении в течение 2 ч на обмотку статора подается напряжение, равное 130% от номинального, и в течение 5 мин испытывается междувитковая изоляция обмоток.

Вибрация определяется при помощи индикатора, приставленного сначала к одному подшипнику, а затем к другому. Индикатор устанавливают в горизонтальной плоскости, ось индикатора должна быть перпендикулярна оси электродвигателя. Вибрация подшипников (удвоенная амплитуда колебаний) не должна превышать (по ПТЭ и ПУЭ) ниже приведенных величин:

Скорость, об/мин	3000	1500	1000	750	500
Амплитуда вибрации, мм	0,05	0,09	0,10	0,12	0,16

Для определения симметрии напряжения на контактных кольцах обмотку статора двигателя включают на номинальное напряжение

при разомкнутом роторе, и вольтметром определяют напряжение между каждой парой контактных колец и фазные напряжения на статоре. Допустимое отклонение должно лежать в пределах ±2—3%.

Отсутствие витковых замыканий проверяют при разомкнутом роторе подачей на обмотку статора напряжения величиной 1,3 номинальной величины в течение 5 мин. После этого снижают напряжение до номинального значения и вторично осуществляют проверку симметрии напряжений на кольцах ротора. Во время испытания необходимо следить за показаниями амперметра в обмотке статора. При витковом замыкании амперметры будут давать неодинаковые показания.

Опыт холостого хода

Для проведения опыта холостого хода асинхронный двигатель включают на номинальное напряжение от потенциал-регулятора. При этом включают амперметры в обмотки статора, проверяют симметрию токов во всех фазах, для чего обмотку ротора у двигателей с фазовым ротором включают через реостат и закорачивают после разгона двигателя. Разность между показаниями амперметров различных фаз должна составлять не более 3—5% от меньшего показания. Для измерения напряжения может быть использован при необходимости трансформатор напряжения. Для измерения должны применяться приборы класса точности не менее 0,5.

При опыте холостого хода производят прослушивание электродвигателя, проверяют нагрев (по термометрам в подшипниках и в железе статора), тахометром измеряют число оборотов. При обнаружении каких-либо ненормальностей необходимо измерить потери холостого хода.

Опыт холостого хода проводится после пятиминутного испытания междувитковой изоляции обмоток. Рекомендуется снимать характеристику холостого хода при следующих значениях напряжения ротора (в процентах от номинального): 130, 125, 120, 110, 100, 85, 70, 50, 30.

Опыт короткого замыкания

Проводится с целью определения потерь в меди обмотки статора. Кроме того, во время этого опыта проверяется качество паек в обмотках и контактные соединения.

Опыт короткого замыкания проводится следующим образом: при заторможенном и закороченном роторе на обмотку статора от потенциал-регулятора подается такое (пониженное) напряжение, при котором по обмотке протекает номинальный ток. Опыт производится для двух положений ротора (относительно статора): одно из них соответствует тому случаю, когда при одной и той же величине подведенного напряжения сила тока статора наибольшая, другое, когда эта же сила тока наименьшая. В протокол заносят среднее значение. Эта разность определяется положением зубцов ротора по отношению к зубцам статора и обнаруживается при перемещении ротора на половину зубца.

Опыт короткого замыкания может быть проведен не только на трехфазном, но и на однофазном напряжении. В этом случае подводимое напряжение по величине может быть больше, однако опыт следует проводить в возможно короткие промежутки времени, чтобы не перегреть двигатель.

При проведении опыта с двигателями, имеющими контактные кольца, подводимое напряжение не должно превышать 50—60% номинального. Сила тока короткого замыкания при питании электродвигателя трехфазным током определяется по формуле

$$I_{к.з} = \frac{2I_{о.к.з}U_{ном}}{\sqrt{3}U_{о.к.з}},$$

где $I_{о.к.з.}$ — ток короткого замыкания при питании однофазным током;

$U_{ном}$ — номинальное напряжение;

$U_{о.к.з.}$ — напряжение при однофазном коротком замыкании.

Проведение опыта короткого замыкания на однофазном напряжении имеет те преимущества, что требуется источник однофазного тока, схема включения приборов очень проста и необходим лишь один комплект приборов (амперметр, вольтметр, ваттметр). Кроме того, для короткозамкнутых двигателей опыт можно проводить при номинальном напряжении и определять ток короткого замыкания без введения поправочного коэффициента, учитывающего насыщение зубцов.

Определение обрывов в обмотке короткозамкнутого ротора. Обмотка короткозамкнутого ротора нередко имеет разрывы стержней, которые трудно обнаружить осмотром. Опыт короткого замыкания дает возможность обнаружить их наличие. Для этого к обмоткам статора подводят такое по величине напряжение, что сила тока короткого замыкания составляла 50% от номинальной силы тока. При этом медленно и плавно проворачивают ротор и ведут наблюдение за показаниями амперметров, включенных в цепь обмотки статора. Если показания амперметров значительно изменяются при повороте ротора, то можно с уверенностью утверждать, что в обмотке ротора имеются обрывы.

Следует отметить, что в двигателях с ротором с двойными клетками указанный способ проверки может обнаружить обрывы только в верхней (пусковой) клетке, наличие даже очень крупных повреждений в нижней (рабочей) клетке почти не проявляет себя.

Для многоскоростных двигателей опыт короткого замыкания должен проводиться на той скорости, при которой участвуют все секции обмотки.

Испытание электродвигателей под нагрузкой

Цель испытания под нагрузкой — проверить работу электродвигателя при нормальных условиях, причем основное внимание при этом обращают на нагрев обмоток и активной стали машины, а также ее подшипников. Испытание под нагрузкой проводится при номинальном напряжении в течение нескольких часов.

Способов нагрузки асинхронного двигателя, используемых на практике, довольно много, каждый из них имеет свою область применения. Основные простейшие способы рассмотрены ниже.

Способ тормоза. Простейшим способом нагрузки асинхронного двигателя является его торможение посредством одного из тормозных приспособлений. При этом энергия, полученная двигателем от источника питания, теряется в виде тепловых потерь. По указанной причине способ пригоден главным образом для испытания двигателей незначительных мощностей.

Способ нагрузки генераторов постоянного тока на реостат. Испытываемый асинхронный двигатель нагружается генератором постоянного тока, сидящим с ним на одном валу или сопряженным через ременную передачу. Энергия, вырабатываемая при этом генератором, поглощается в реостате. Генератор может работать на самовозбуждении, однако удобнее независимое возбуждение от источника постоянного тока с устойчивым напряжением, так как это обеспечивает более гибкое, более быстрое и легкое управление режимом.

Использование коллекторной машины переменного тока в качестве нагрузочного генератора с отдачей электроэнергии в сеть. В качестве нагрузочного генератора можно использовать коллекторный двигатель переменного тока (например, типа Шраге—Рихтера). Такой двигатель имеет широкий диапазон регулировки скорости (от 400 до 1500 об/мин) и этим удобен для испытания.

Испытываемый электродвигатель сочленяют с коллекторным двигателем и к обмотке ротора последнего подключают питание от сети переменного тока. При вращении коллекторного электродвигателя регулятором скорости (траверса со щетками) устанавливают его число оборотов равным номинальному числу оборотов испытуемого двигателя, отмечая направление вращения. Затем нагрузочный электродвигатель отключают от сети и после его остановки подают питание на испытуемый. При этом также отмечают направление вращения: оно должно совпадать с направлением вращения от коллекторного двигателя. Если это условие выполнено, то при вращении испытуемого электродвигателя подают питание от сети на коллекторный двигатель. Регулятор числа оборотов последнего устанавливают в положение, дающее несколько меньшее число оборотов. Ротор испытуемого электродвигателя начинает вращать ротор коллекторного двигателя с числом оборотов, превышающим присущие последнему синхронные обороты, таким образом коллекторный двигатель переходит в режим генератора и отдает энергию в сеть. Постепенно при помощи регулятора увеличивают нагрузку испытуемого двигателя, доведя ее до номинальной величины, указанной в паспорте двигателя.

После испытания нагрузку снимают установкой регулятора в первоначальное положение.

Измерение скольжения при испытании двигателя. Для нормальной работы электродвигателя необходимо, чтобы число оборотов вращения ротора соответствовало паспортным данным. Для этого измеряют

скорость вращения ротора двигателя или так называемое скольжение. Под скольжением понимают отношение разности числа оборотов синхронных n_1 и действительных n_2 к числу синхронных оборотов, т. е.

$$S = \frac{n_1 - n_2}{n_1}.$$

Скорость вращения двигателя измеряют центробежным тахометром, который обычно имеет несколько пределов измерения.

Для измерения скорости вращения следует предварительно установить на тахометре нужный предел измерения и затем хвостовик тахометра прижать к зенковке в центре вала. Тахометр следует держать обеими руками так, чтобы ось его валика совпадала с осью вала. Стрелка тахометра покажет, какое число оборотов имеет двигатель.

С увеличением нагрузки двигателя скольжение его увеличивается, поэтому скольжение измеряют при различной нагрузке двигателя, но при максимальной нагрузке скольжение двигателя не должно превышать величины, нормируемой для данного типа двигателя.

Скольжение измеряется также при помощи стрелочного гальванометра или милливольтметра, подсоединяемого к выводам индукционной катушки. Катушку располагают у конца вала ротора и, поворачивая ее в разные стороны, находят положение, при котором наблюдаются максимальные колебания стрелки прибора. По числу полных колебаний k за время t рассчитывают величину скольжения

$$S = \frac{2k}{t}\ \%,$$

где t — время, сек.

Испытание электродвигателя на нагрев

Целью этого испытания является определение температуры нагрева отдельных частей двигателя (машины) при нормальной нагрузке.

В объем испытания на нагрев входят:

1) определение температуры обмотки и стали статора по термометрам;

2) определение температуры обмоток ротора по изменению величины омического сопротивления;

3) проверка температуры входящего и выходящего воздуха;

4) определение межфазного (линейного) напряжения.

Испытание на нагрев проводится при трех режимах нагрузки: 75, 85 и 100% номинальной мощности двигателя. Испытание должно длиться до установившейся температуры двигателя. За установившуюся температуру условно принимают такую, которая в течение часа не изменяет своего значения более чем на 1%.

Через час после достижения установившейся температуры двигатель отключают от сети, закрывают доступ охлаждающего воздуха

(если таковой подводится из помещения) и немедленно начинают измерять сопротивление обмотки. Измерение производится через определенные промежутки времени, а именно: первое — через 1—2 мин после отключения двигателя, последующие — через каждые 3—5 мин в течение 15—20 мин.

Превышение температуры обмотки над температурой окружающей среды определяют по формуле

$$T = \frac{R_{гор} - R_{хол}}{R_{хол}}(235 + t_{хол}) - (t_{ср} - t_{хол}) \text{ град},$$

где $R_{гор}$ — сопротивление обмотки в нагретом состоянии, ом;
$R_{хол}$ — сопротивление обмотки в холодном состоянии, ом;
$t_{хол}$ — температура обмотки в холодном состоянии, °С;
$t_{ср}$ — средняя температура охлаждающего воздуха за последний час, °С.

Допустимый нагрев частей машины приведен в табл. 16.

Таблица 16

ДОПУСКАЕМЫЙ НАГРЕВ ЧАСТЕЙ МАШИНЫ ПРИ ИЗОЛЯЦИИ КЛАССА А

Наименование частей электродвигателя	Наибольшая допустимая температура нагрева °С	Наибольшее допустимое превышение температуры град	Метод измерения
Обмотка статора	105	70	По сопротивлению обмоток
Обмотка фазного ротора	100	65	
Обмотка короткозамкнутого ротора	Не устанавливается		
Железо статора	100	65	По показаниям термометра
Контактные кольца ротора	105	70	
Подшипники качения	90	55	

Пример. Сопротивление одной из фаз статорной обмотки в холодном состоянии при температуре 20° составляет 0,036 ом, т. е. $t_{хол} = 20°$. После длительной нагрузки сопротивление той же фазы стало 0,045 ом. Испытание проводилось при средней температуре за последний час испытания 25° С, т. е. $t_{ср} = 25°$ С. Подставив все величины в указанную выше формулу, получим, что перегрев обмотки составляет:

$$T = \frac{0{,}045 - 0{,}036}{0{,}036} 235 + 20 - (25 - 20) = 58{,}7 \text{ град.}$$

Так как температура окружающей среды была 25° С, то температура нагрева обмотки будет 58,7 + 25 = 83,7° С.

12. ИСПЫТАНИЕ СИНХРОННЫХ КОМПЕНСАТОРОВ

Синхронные компенсаторы — генераторы реактивной мощности, работающие в режиме без нагрузки на валу, предназначены для разгрузки основных генераторов станций и основных линий электро-

передачи энергосистем от реактивных нагрузок. Установка их на районных подстанциях системы или у особо крупных потребителей требует специальных сооружений. При применении синхронных компенсаторов снижение потерь активной мощности происходит только частичное. Испытание синхронного компенсатора мало отличается от испытания рассмотренных машин и включает:

1) измерение сопротивления изоляции обмотки статора компенсатора с определением $k_{абс}$, т. е. отношения R_{60}/R_{15}. Производится мегомметром до вскрытия синхронных компенсаторов и после окончания ремонта. Напряжение мегомметра 1000—2500 в. Величина сопротивления изоляции и коэффициент абсорбции обязательно нормируются. При ремонте осуществляют измерение сопротивления изоляции каждой фазы или параллельной ветви в отдельности при соединенных с корпусом всех других фазах или ветвях — до и после испытания повышенным напряжением;

2) измерение сопротивления изоляции обмотки ротора синхронного компенсатора производится мегомметром на напряжение 1000 в. Сопротивление изоляции обмотки измеряется по отношению к валу ротора;

3) измерение мегомметром сопротивления изоляции цепей возбуждения компенсатора и возбудителя вместе со всей присоединенной аппаратурой (без обмоток ротора и возбудителя);

4) измерение сопротивления постоянному току обмоток статора компенсатора;

5) измерение сопротивления постоянному току обмоток ротора и возбудителя;

6) испытание изоляции обмоток статора и ротора повышенным напряжением;

7) измерение сопротивления изоляции подшипников генератора, возбудителя и термодетекторов;

8) испытание устройства гашения поля.

Методика испытания синхронных машин практически не отличается от испытания рассмотренных типов электромашин.

Испытание обмоток статора после ремонта повышенным переменным напряжением, равным $1{,}6U_{ном}$, производят в течение 1 мин, а затем в полном сборе номинальным напряжением в течение 5 мин. Перед вводом в эксплуатацию после ввода ротора в статор машину испытывают $U_{ном}$ в течение 1 мин.

Испытание обмотки ротора машин производят напряжением переменного тока 7,5 $U_{ном}$ напряжения ротора.

Измерения сопротивления изоляции подшипников производят мегомметром на напряжение 1000 в, величина сопротивления изоляции должна быть не менее 1 Мом.

Устройство гашения поля испытывают перед включением синхронной машины, но во всяком случае проверяют величину заземляющего сопротивления гашения поля и реостата возбуждения на всех положениях. Величина сопротивления не должна отличаться от паспортных данных более чем на 10%.

13. ОФОРМЛЕНИЕ ДОКУМЕНТАЦИИ ПО ОКОНЧАНИИ РАБОТ

Результаты проверок, испытаний электрических машин оформляют протоколами, формы которых имеются в каждой организации, занимающейся испытаниями электромашин при ремонте.

Протоколы оформляют в двух экземплярах, из которых один экземпляр сдают эксплуатационному персоналу. Кроме протоколов, имеются ремонтные карты электромашины, куда заносят результаты испытаний после ремонта. Протоколы должны быть подписаны лицами, производящими испытания и проверки, а также ответственными лицами, осуществляющими наладку электромашины.

Электрооборудование может быть принято в эксплуатацию только при наличии протоколов проверки и испытаний его. Протоколы подтверждают выполнение всех проверок, испытаний и измерений в объеме требований ПУЭ и служат исходным документом для эксплуатации при последующих испытаниях электрических машин.

14. ЭЛЕКТРОМАШИННЫЕ УСИЛИТЕЛИ

К ЭМУ в эксплуатации предъявляют повышенные требования.

Если ЭМУ был длительное время в резерве, то перед пуском его на постоянную работу необходимо после внешнего осмотра замерить мегомметром в 500 в сопротивление изоляции всех обмоток относительно корпуса и друг друга. Желательно измерить сопротивление изоляции при температуре обмоток в 60—80° С, для чего ЭМУ временно включают и загружают. Сопротивление изоляции должно быть не ниже 0,25 Мом. Только в этом случае ЭМУ может быть включен в постоянную работу. Если величина изоляции ниже указанной, обмотки должны быть подвергнуты сушке. Коллектор ЭМУ должен быть цилиндрическим и полированным, должен иметь глянцевитую поверхность красноватого цвета с буро-голубым или фиолетовым оттенком в виде пленки, которая улучшает процесс коммутации ЭМУ. В случае необходимости проточки коллектора он должен быть после проточки продорожен, отшлифован, а затем в собранном виде отполирован. Для полировки коллектора вместо угольных щеток ставят такие же по размерам деревянные (из липы) и вращают коллектор на номинальных оборотах около 2—3 ч до появления на коллекторе необходимой политуры.

При эксплуатации ЭМУ коллектор периодически осматривают. При обнаружении незначительного нагара на кромках пластин следует протереть коллектор салфеткой, смоченной в бензине.

Если коллектор имеет значительные подгары пластин, то при снятых щетках коллектор следует прошлифовать стеклянной бумагой № 00 при вращении якоря от руки в направлении стрелки. Бумагу закрепляют в деревянной колодке, колодка должна иметь вырез, соответственный диаметру коллектора. После шлифовки снимают заусенцы с кромок ламелей шабером, а дорожки между пластинами прочищают картоном или фиброй. Затем ЭМУ продувают сжатым воздухом. Политуру на коллекторе наводят, как указывалось выше.

Равномерность нажатия щеток и состояние «зеркала» проверяют периодически. В случае износа щеток и замены их новыми торцы всех новых щеток подгоняют к коллектору шлифовкой его стеклянной бумагой, которую протягивают между коллектором и щетками в направлении вращения коллектора до тех пор, пока не совпадут поверхности щеток с поверхностью коллектора. Оставшиеся годные старые щетки при этом вынимают из щеткодержателей. После шлифовки щеток ЭМУ продувают сжатым воздухом. Частичную замену производят щетками той марки, что и старые, иначе возможен повышенный износ коллектора и даже выход его из строя. Обоймы щеткодержателей должны отстоять от коллектора на 2 мм. Нажатие щеток на коллектор проверяют динамометром, оно должно быть в пределах 1,96—2,94 н/см^2 (200—300 Г/см^2). Особое внимание при эксплуатации уделяют состоянию подшипников. При этом обращают внимание на следующее: температура подшипников не должна быть выше температуры окружающего воздуха на 35 град. Шум в подшипнике равномерный, если замечены в работе подшипника свист, скрежет и стук, его немедленно заменяют, смену смазки производят после 3000—5000 ч работы, но не реже одного раза в год. При замене смазки маслом заполняют $^2/_3$ пространства полости подшипника (большое количество смазки может вызвать перегрев подшипника и выход его из строя). Смазкой для подшипников ЭМУ являются смазочные материалы (ГОСТ 1631—61).

Испытания электромашинных усилителей

Испытания электромашинного усилителя производят в следующем порядке.

1) измеряют сопротивление постоянному току обмоток управления, якоря, компенсационной и добавочных полюсов. Величины сопротивлений должны соответствовать паспортным данным. Уменьшение сопротивлений свидетельствует о межвитковом замыкании в соответствующей обмотке;

2) проверяют, включая ЭМУ толчком, направление вращения ЭМУ и убеждаются в том, что оно совпадает со стрелкой на корпусе ЭМУ;

3) пришлифовывают щетки ЭМУ к коллектору;

4) щетки устанавливают в нейтральное положение таким же способом, как и для машин постоянного тока, т. е. при помощи батареи и милливольтметра. Перед установкой щеток в нейтральное положение необходимо снять закорачивающую перемычку со щеток и на ее место включить милливольтметр. После установки нейтрали перемычку устанавливают на место;

5) проверяют полярность выводов обмоток якоря, дополнительных полюсов и компенсационной с помощью батареи и милливольтметра;

6) снимают характеристику холостого хода ЭМУ на каждой обмотке управления. Эту операцию производят так же, как и для электромашин постоянного тока;

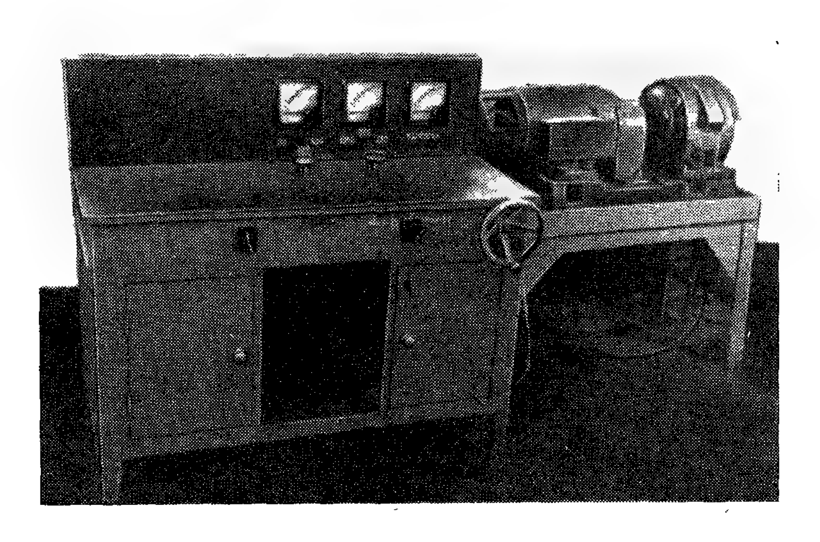


Рис. 72. Стенд и пульт для испытания ЭМУ

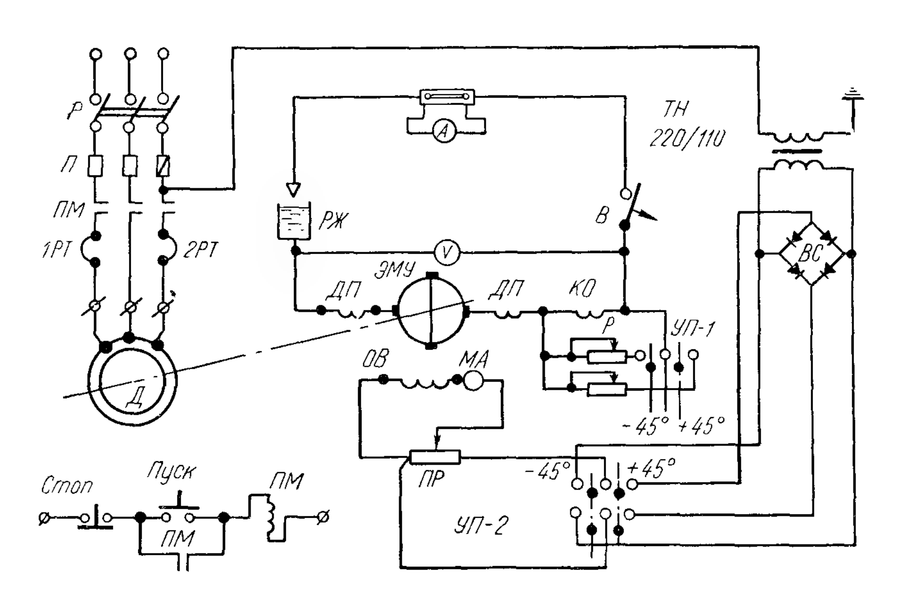


Рис. 73. Принципиальная схема пульта для испытания ЭМУ:

ПМ — магнитный пускатель; *Р* — рубильник; *1РТ*, *2РТ* — тепловая защита; *Д* — двигатель; *ДП* — дополнительные полюсы; *ОВ* — обмотка возбуждения; *РЖ* — жидкостный реостат в цепи ЭМУ; *R* — сопротивление в цепи *КО*; *ПР* — реостат в цепи *ОВ*; *УП-1*, *УП-2* — универсальный переключатель; *ВС* — селеновый выпрямитель; *ТН* — потенциальный трансформатор

7) параллельно компенсационной обмотке включают регулируемое компенсационное сопротивление $R_к$ и снимают внешнюю характеристику.

Внешняя характеристика — это зависимость напряжения на выходе ЭМУ от силы тока во внешней цепи при постоянных возбуждении и числе оборотов. На обмотку управления подают ток, обеспечивающий номинальное напряжение якоря при холостом ходе. Затем включают регулируемое нагрузочное сопротивление в цепь якоря. Характеристику снимают при различных величинах сопротивления $R_к$.

По полученным характеристикам выбирают такую величину $R_к$, при которой напряжение якоря при номинальной нагрузке понижается на 15—30% относительно напряжения холостого хода, в зависимости от назначения ЭМУ, т. е. ЭМУ настраивают на режим недокомпенсации. Это делают для того, чтобы не происходило повышения напряжения на якоре за счет самовозбуждения (рис. 72, 73).

Окончательно выбранную при номинальной силе тока возбуждения величину компенсационного сопротивления $R_к$ проверяют при половинной силе тока возбуждения, путем снятия внешней характеристики ЭМУ.

Правильно выбранная величина $R_к$ характеризуется отсутствием подъема внешней характеристики.

Если напряжение на якоре при небольшой силе тока нагрузки падает почти до нуля, возможны следующие причины:

а) межвитковое замыкание в обмотке якоря;

б) неправильно включена компенсационная обмотка «вывернута» или в ней имеется межвитковое замыкание;

в) неправильно включена обмотка дополнительных полюсов «вывернута».

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Баннов С. Е. Ремонт электрооборудования металлургических заводов. М., «Металлургия», 1967.

Борембо К. Н., Бернштейн Л. М. Сушка, пропитка и компаундировка обмоток электрических машин. М., «Энергия», 1967.

Виноградов Н. В. Производственное обучение электрослесарей по ремонту электрических машин. М., «Высшая школа», 1969.

Виноградов Н. В. Обмотчик электрических машин. М., «Высшая школа», 1969.

Вяжнов А. И. Электрические машины. М., «Энергия», 1969.

Гемке Р. Г. Неисправность электрических машин. М., «Энергия», 1969.

Егоров Б. А. Производство и ремонт коллекторов электрических машин. М., «Энергия», 1968.

Жерве Г. К. Расчет асинхронного двигателя при перемотке. М., «Энергия», 1967.

Жерве Г. К. Расчет машины постоянного тока при перемотке. М., «Энергия», 1967.

Жерве Г. К. Промышленные испытания электрических машин. М., «Энергия», 1968.

Карасев М. Ф. Коммутация электрических машин. М., «Энергия», 1967.

Карпова В. П. Металлокерамические материалы для скользящих контактов электрических машин. Изд. ВНИИЭМ, 1969.

Козлов Е. М. Механизация обмоточно-изоляционных работ при производстве электрических машин. М., Госэнергоиздат, 1963.

Кокарев А. С. Справочник молодого обмотчика. М., «Высшая школа», 1969.

Петров Г. Н. Электрические машины. М., «Энергия», 1968.

Пиотровский Л. М. Электрические машины. М., «Энергия», 1967.

Полярков Г. Е., Коварский А. И. Производственное обучение электромонтеров по монтажу и эксплуатации промышленных предприятий. М., «Высшая школа», 1969.

Сергеев П. С. Проектирование электрических машин., М. «Энергия», 1970.

Стан П. М. Профилактический контроль состояния паек статоров электрических машин и аппаратов. М., «Энергия», 1968.

ПРИЛОЖЕНИЕ I

ОБОРУДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОРЕМОНТНОГО ЦЕХА

Для повышения производительности труда работающих в электроремонтном цехе он должен быть соответственно оборудован механизмами.

Такими могут быть:

1. Моечная машина типа ММЧ-1 для промывки и пропарки обмоток и деталей электрических машин.
2. Станок для выемки из статоров, роторов и якорей вышедших из строя обмоток секциями.
3. Намоточиый станок для намотки секций обмоток статоров, роторов и якорей на деревянные шаблоны, тип ТТ-20.
4. Приспособление для растяжки секций после намотки.
5. Станок для изготовления пазовых клиньев.
6. Бандажировочный станок для намотки стальных бандажей на якоре и роторе, в качестве которого может быть приспособлен вышедший из строя токарный станок.
7. Станки для намотки контакторных и тормозных катушек, типа СРН-0,5 и др.
8. Балансировочные станки для динамической балансировки якорей и роторов электрических машин, типы М2-902 и МС-903.
9. Горизонтальный пресс для выпрессовки поврежденных валов из якорей, роторов и активного железа статора из корпуса, тип П-983.
10. Станок для продораживаиия коллекторов.
11. Электросварочный агрегат типа ВК-1000.
12. Переносные баллоны с горелками для газа пропанбутан.
13. Пневмо-гайковерты, тип ИП-3103.
14. Низковольтный высокочастотный преобразователь для питания электродрелей напряжением 32 в с частотой 200 гц.
15. Вертикальный пресс для штамповки металлических деталей к электроаппаратам, тип КВ-35.
16. Вертикальный пресс с электроподогревом пресскамеры для прессовки пластмассовых деталей к электроаппаратам, тип П 472А.
17. Прессиожницы для резки стальных и медных листов толщииой до 6,5 мм.
18. Прокатный стан для прокатки полос из меди, латуни, серебра и припоев с валками диаметром до 200 мм и длиной 200 мм.
19. Печь с электроподогревом для отжига бывшего в употреблении медного провода при волочении.
20. Стальная ванна, покрытая внутри химически стойкими лаками для травления в растворе серной кислоты отожженного медного провода. Размеры ванны 800 × × 600 × 600 мм.
21. Такая же ванна для промывки проточной водой.
22. Волочильный станок для волочения медного обмоточного провода, тип ЕМ3/2.
23. Оплеточный станок для оплетки изоляцией медного провода после волочения (ПБД, ПСД).
24. Сушильная печь с коаксиальными термоэлектронагревателями для сушки обмоток до и после пропитки их изоляционными лаками. Температура нагрева до 120—180° С.
25. Вакуумная установка для пропитки обмоток изоляционными лаками под вакуумом.
26. Стальные ванны для пропитки обмоток изоляционным лаком методом погружения, размеры ванны 2000 × 2000× 1500 мм, 2 шт.
27. Стальная ванна для пропитки обмоток якорей и роторов изоляционным лаком, размер 2000 × 600 × 1000 мм.

28. Газовая нагревательная печь для подогрева медных и стальных заготовок перед обработкой их под молотом.

29. Кузнечный молот, тип МБ-412.

30. Токарные станки:

Расстояние между центрами, мм	3000—4000	500	200
Высота центров, мм	500	200	150
Количество, шт.	1	1	1

31. Фрезерный станок, тип 6Н80, 2 шт.

32. Грузоподъемный мостовой электрический кран с двумя подъемами для транспортировки электрических машин и подъемных магнитов (грузоподъемность определяется по местным условиям).

ПРИЛОЖЕНИЕ II

Дата поступления________ Цех-заказчик________

готовности________ Заказ №________

РЕМОНТНАЯ КАРТОЧКА №________

Техническая характеристика машины

---

1. Завод-изготовитель______
2. Тип______
3. Заводской №______
4. Инвентарный №______
5. Род тока______
6. Мощность______
7. Напряжение:
   статора______
   ротора______
8. Сила тока { статора______ ротора______
9. Число оборотов в мин.______
10. cos φ______
11. ПВ %______
12. Тип возбуждения______
13. Соединение______
14. К. п. д.______

		Передний	Задний
Подшипники	качения №______		
	скольжения (размер)		

Ремонтировался дата с____________ до ____________

последний раз в ЭРЦ № заказа ____________

Замечания о состоянии электродвигателя	Цех заказчика: доставлен в ЭРЦ по графику, вне графика, аварийно. Замечания о работе электродвигателя от последнего ремонта в ЭРЦ. Какой требуется ремонт____________
до ремонта в электрорем. цехе	Ст. электрик цеха____________ Начальник стенда и мастер ____________

Дефекты, краткое содержание ремонта, технологические данные

Обмоточное отделение				Слесарно-сборочное отделение		
№	Якорь, ротор, статор	Размотка	Намотка	1	Якорь или ротор	
1	Число пазов			2	Полюса параллельные или статор	
2	Шаг по пазам					
3	Число коллекторных пластин					
4	Шаг по коллектору			3	Полюса последовательные	
5	Род обмотки					
6	Число секций					
7	Витков (оборотов) в секции					
8	Секций в катушке			4	Полюса дополнительные	
9	Число катушек в фазе					
10	Соединение обмотки					
11	Эффект. проводов в пазу			5	Перемычки	
12	Число мертвых проводов					
13	Число параллельных проводов					
14	Диаметр голого провода			6	Вывода	
15	Диаметр изолированного провода					
16	Масса изолированного провода			7	Коллектор	
17	Марка провода					
18	Изоляция секции			8	Щеточное устройство	
19	Изоляция паза					
20	Сопряжение фаз λ/Δ					
21	Вылет лобовой части (мм)			9	Крышки, корпус	

№	Полюса	Параллельные	Последовательные	Дополнительные	10	Вал и шейки
1	Число полюсов				11	Подшипники
2	Диаметр голого провода					
3	Диаметр изолированного провода				12	Буксы
4	Масса провода					
5	Марка провода				13	Смазка
6	Число секций в катушке					
7	Число витков в секции					
8	Соединение полюсов				14	Межжелезный зазор
9	Изоляция катушек					

Объем ремонта

Подпись мастера

Объем ремонта

Подпись мастера

Пооперационное прохождение испытаний

№	Дата	Содержание	Время	Напряжение

Испытания провел
(подпись)

Протокол сушки							
якорь — ротор				статор — редуктор			
дата	часы	температура °C	сопротивление изоляции *Мом*	дата	часы	температура °C	сопротивление изоляции *Мом*

Выпускные испытания стенда __________ 19___ г.

№	Наименование	Холостой ход	Под нагрузкой	Сопротивление изоляции (*Мом*) после испытаний под нагрузкой				
1	Сила тока статора			1. Статор или индуктор	1—2	2—3	3—1	корпус
2	Сила тока ротора							
3	Напряжение статора							
4	Напряжение ротора							
5	Обороты							
6	Температура статора подшипников			2. Ротор или якорь				
7	Время испытания							
8	Искрение щеток							
9	Осевой разбег							
10	Люфт в подшипниках							

Испытание на витковое замыкание после испытаний под нагрузкой

____

1. Напряжение __________ *в* ____

2. Сила тока __________ *а* ____

Испытание на диэлектрическую прочность изоляции после испытаний под нагрузкой

1. Статор	*кв*	4. Индуктор, параллельный	*кв*
2. Ротор	*кв*	последовательный	*кв*
3. Якорь	*кв*	дополнительный	*кв*

Начальник испытат. стенда (подпись)

АКТ

приемник электродвигателя после ремонта

________ 197____ г.

Принял из ремонта
(фамилия, должность) ____________________ (*подпись*)
Сдал
(фамилия, должность) ____________________ (*подпись*)

ПРИЛОЖЕНИЕ III

АКТ №______

Раздел I

1. Цех, агрегат ____________________

2. Краткая техническая характеристика электродвигателя; род тока ________ тип ________ мощность ________
напряжение ________ *об/мин* ________ зав. № ________
инв. № ________

3. Дата и время выхода из строя ____________________

4. Краткое описание выхода из строя ____________________

5. Прохождение капремонтов ____________________
(дата и № актов)

6. Дата последней ревизии или установки электродвигателя из резерва

7. Кем проводилась ревизия ____________________

8. Состояние изоляции при ревизии или установке электродвигателя из резерва

9. Фамилия и должность представителя, которому поручается участвовать в дефектовке (заполняется при условии, если цех-заказчик считает виновником выхода из строя электродвигателя электроцех или по другим причинам)

Оборотная сторона приложения III

Раздел II

1. Характер повреждения

2. Причина выхода из строя

3. Виновники

4. Мероприятия по предупреждению аналогичных повреждений

5. Дата проведения дефектовки

Представитель цеха-заказчика

Зам. нач. ЭРЦ

Ст. инженер ОГЭ

ВЕЛИЧИНЫ ИЗОЛЯЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН ПРИ ВЫПУСКЕ С ЗАВОДА-ИЗГОТОВИТЕЛЯ ИЛИ ПОСЛЕ РЕМОНТА С ПОЛНОЙ ЗАМЕНОЙ ИЗОЛЯЦИИ п. А

(извлечение из ГОСТ 183—66)

№ пп.	Электрическая машина или ее части	Испытательное напряжение (действующее значение), *в*
	А. Главная изоляция электрических машин относительио корпуса и между обмотками	
1	Машины мощностью менее 1 *квт* (или 1 *ква*), а также все машины на номинальное напряжение не свыше 36 *в*	$500 + 2u_н$
2	Машины мощностью от 1 *квт* (или 1 *ква*) до 3 *квт* (или 3 *ква*) включительно при номинальном напряжении свыше 36 *в*	$1000 + 2u_н$
3	а) машины мощностью более 3 *квт* (или 3 *ква*), за исключением перечисленных в п. 3б настоящей таблицы при номинальном напряжении свыше 36 *в*	$1000 + 2u_н$, но не менее 1500
	б) машины мощностью от 1000 *квт* (или 1000 *ква*) и выше на номинальное напряжение:	
	до 3300 *в* включительно	$1000 + 2u_н$
	свыше 3300 *в* до 6600 *в* включительно	$2{,}5u_н$
	свыше 6600 *в*	$3000 + 2u_н$
4	Обмотки возбуждения синхронных генераторов, у которых номинальное напряжение возбудительной системы не превышает 800 *в*	$10u_{н.\,возб}$ (но не менее 1500 и не более 3500)
5	Обмотки возбуждения синхронных двигателей и синхронных компенсаторов:	
	а) если машина предназначена для непосредственного пуска со стороны переменного тока с обмоткой возбуждения, замкнутой иа сопротивление, или на источник своего питания	$10u_н$ возбудительной системы, ио не менее 1500
	б) то же, но предназиаченная для пуска с разомкнутой обмоткой возбуждения, подразделенной на секции	$1000 + 10u_н$ возбудительной системы, ио не менее 1500
	в) то же, но предназначенная для пуска с разомкнутой обмоткой возбуждения, не секционированной	$1000 + 20u_н$ возбудительной системы, но не менее 1500 и не более 8000
	г) синхронные двигатели и синхронные компенсаторы, пускаемые специальными пусковыми двигателями	$10u_н$ возбудительной системы, ио не менее 1500

№ пп.	Электрическая машина или ее части	Испытательное напряжение (действующее значение), *в*
6	Возбудители для электрических машин:	
	а) возбудители для электрических машин, кроме синхронных	$1000 + 2u_н$, но не менее 1500
	б) возбудители для синхронных генераторов, у которых номинальное напряжение возбудительной системы не превышает 800 *в*	$10u_н$, но не менее 1500 и не более 3500
	в) возбудители для синхронных двигателей и синхронных компенсаторов	$10u_н$, но не менее 1500
7	Вторичные обмотки асинхронных двигателей, не находящиеся в непрерывном короткозамкнутом состоянии:	
	а) для двигателей, допускающих торможение противовключением	$1000 + 4u_н$ вторичной обмотки
	б) для двигателей, не предназначенных для торможения противовключением	$1000 + 2u_н$ вторичной обмотки
8	Собранные в группы электрические машины и аппараты	Если испытанию подвергается группа, собранная из нескольких новых только что установленных и соединенных вместе электрических машин и аппаратов, из которых каждая машина и каждый аппарат проходили испытания электрической прочности, то испытательное напряжение не должно превышать 85% испытательного напряжения той машины или аппарата, у которой это напряжение наименьшее
	Б. Витковая изоляция электрических машин	
1	Все новые и капитально отремонтированные электрические машины с полной заменой изоляции	$1{,}3u_н$

Примечания: 1. Длительность испытаний главной (корпусной) изоляции электрических машин 1 мин.

2. Витковая изоляция испытывается в течение 5 мин.

3. Поставленные заводом турбо- и гидрогенераторы и другие крупные машины после монтажа подвергаются обязательным испытаниям электрической прочности изоляции напряжением, равным 75% испытательного напряжения, указанного в протоколе завода.

ПАСПОРТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ

Тип____________

Инвентарный №____________

Цех____________

ПАСПОРТ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ

Тип по роду тока ____________

Инвентарный №__________, заводской №__________

Цех__________, дата заполнения __________

Завод-изготовитель__________

Тип__________

Номинальная мощность__________*квт*

Номинальное напряжение__________*в*

Номинальная сила тока__________*а*

Номинальное число оборотов__________об/мин

Продолжительность включения ПВ__________

К. п. д.__________, соединение__________

Напряжение ротора__________*в*

Сила тока ротора __________*а*

Косинус «фи» __________, исполнение__________

Подшипники №__________(передний)__________(задний)__________

Год выпуска__________

Дата установки__________

Рабочее место

Эксплуатация

Дата установки	Рабочее место	По какой причине снят. Замечания о работе электромашины	Заказ электроремонтного цеха

____
(предприятие)

ПРИЛОЖЕНИЕ VI

Утверждаю
Главный энергетик предприятия
__________19____г,

Годовой график ППР электрических машин
__________цеха (завода) на__________год

№ пп.	Наименование оборудования	Инвентарный №	Место установки оборудования	Тип оборудования	Мощность, *квт*	Напряжение, *в*	Число оборотов *об/мин*	Группа режима работы	Дата последнего ремонта	Месяцы I план, выполнение	II план, выполнение	III план, выполнение	и т. д. до XII месяца

ПРИЛОЖЕНИЕ VII

ДОПУСТИМЫЕ ВЕЛИЧИНЫ СИЛЫ ТОКА ХОЛОСТОГО ХОДА ДЛЯ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ, В % ОТ НОМИНАЛЬНОГО

Мощность *квт*	Скорость вращения, *об/мин*					
	3000	1500	1000	750	600	500
0,1—0,5	60	75	85	90	95	—
0,51—1,0	50	70	75	80	85	90
1,1—5,0	45	65	70	75	80	85
5,1—10,0	40	60	65	70	75	80
10,1—25,0	30	55	60	65	70	75
25,1—50,0	20	50	55	60	65	70
50,1—100,0	—	40	45	50	55	60

ПРИЛОЖЕНИЕ VIII

СЕЧЕНИЕ ВЫВОДНЫХ ПРОВОДОВ ОБМОТОК ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Сечение медных проводов, *мм²*	Допустимая сила тока, *а*			
	продолжительная		кратковременная	
	открытые вентилируемые машины	закрытые вентилируемые машины	открытые вентилируемые машины	закрытые вентилируемые машины
2,5	26	23	39	30
4,0	40	33	60	46
6,0	58	47	87	58
10,0	84	67	140	110
16,0	120	100	220	170
24,0	160	140	320	225
35,0	200	175	430	350
50,0	255	220	580	470

ПРИЛОЖЕНИЕ IX

ДИАМЕТРЫ ВЫВОДНЫХ ШПИЛЕК НА ЩИТКАХ ПОДКЛЮЧЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Сечение выводной шпильки *мм²*	Наибольшая допустимая сила тока, *а*	Сечение выводной шпильки *мм²*	Наибольшая допустимая сила тока, *а*
М-4	14	М-14	200
М-5	25	М-24	300
М-6	48	М-48	500
М-8	100	М-100	800

Борис Васильевич Никольский **Давид Борисович Милявский**

ЭКСПЛУАТАЦИЯ И РЕМОНТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН НА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ЗАВОДАХ

Редактор издательства *Н. Ф. Фокина* Художественный редактор *Д. В. Орлов*
Технический редактор *Л. Г. Челышева* Корректоры: *Н. Л. Залуцкая* и *Л. И. Тубина*
Переплет художника *Б. Г. Дударева*

Сдано в набор 12/I 1973 г. Подписано в печать 29/III 1973 г. Т-06008
Формат бумаги $60 \times 90^1/_{16}$ Бумага типографская № 2. Печ. л. 10,0 Уч.-изд. л. 10,99
Тираж 6000 экз. Заказ 24 Изд. № 2402 Цена 49 коп.

Издательство «Металлургия» 119034, Москва, Г-34, 2-й Обыденский пер., 14

Ленинградская типография № 6 Союзполиграфпрома при Государственном комитете Совета Министров СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли
193144, Ленинград, ул. Моисеенко, 10